

El Proyecto Céfire



Autor: Carlos Bernal Ortega
Tutor: Sergio Esteban Roncero

Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla. Universidad de Sevilla

Prólogo

El reto de diseñar y construir una aeronave es una oportunidad que la vida brinda en muy pocas ocasiones. Por fortuna puedo decir que he tomado parte en la construcción de un Vehículo Aéreo no Tripulado, un proyecto que a mi parecer marca un hito para la titulación de Ingeniería Aeronáutica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla, y en concreto, para el Departamento de Ingeniería Aeroespacial, ya que es la primera vez que en esta universidad se lidera una aspiración de tales características.

Ajeno a toda repercusión que pueda tener el proyecto, en el plano personal, considero que la experiencia vivida tiene un valor incalculable. Así es, la puesta en práctica de los conocimientos adquiridos durante los cinco años de titulación, la resolución de un problema real y complejo en el campo de la ingeniería y sobre todo el trabajo en equipo para la consecución de una meta, son ambiciones a la que todo estudiante de ingeniería desearía aspirar al finalizar su titulación.

Evidentemente, todo esto, no habría sido posible sin la inestimable colaboración del Departamento de Ingeniería Aeroespacial. En esta línea, me gustaría agradecer enormemente el apoyo y la férrea confianza que Damián Rivas Rivas ha depositado en el proyecto desde su inicio, sin su respaldo nunca se habría materializado. Así mismo quisiera expresar mi gratitud de un modo especial al equipo de trabajo, Pedro, Curro, Andrés, Daniel, José Luis y Adrián, y al profesor Sergio Esteban Roncero, por su entrega para con el proyecto y los alumnos implicados en el mismo. No tengo sino palabras de elogio para él, ya que sin sus conocimientos y experiencia no habríamos llegado tan lejos. De igual forma quiero reconocer la labor de los profesores Alfonso Valenzuela Romero, Antonio Franco Espín, Rafael Vázquez Valenzuela, y Francisco Gavilán Jiménez, quien además de ser tutor de uno de los alumnos del proyecto, ha aportado ingeniosas ideas a los numerosos problemas aparecidos durante el proceso de diseño y construcción. No queda en el olvido la ayuda procurada por los trabajadores de taller, en especial, la aportada por Manuel González, cuyas herramientas y conocimientos nos han sacado de más de un apuro en alguna que otra ocasión.

Por último, a el apoyo incondicional y el aliento de ánimo en los momentos difíciles a lo largo de estos cinco años, de mi familia y de mi novia, Laura. A estas personas les dedico especialmente este proyecto, ya que ellas son las que me han llevado literalmente en volandas hacia la meta. Una vez más, gracias.

El Proyecto Céfire, además de suponer algo que quedará para la memoria del tiempo, ha sido una experiencia de la que me siento tremendamente orgulloso, y es que como ya he dicho, no siempre se tiene la suerte de participar en el diseño y construcción de una aeronave con un grupo de trabajo tan comprometido, ilusionado y entregado.

Carlos Bernal Ortega
Sevilla, Diciembre 2009

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Acrónimos

Lista de imágenes

Lista de tablas

1. Objeto
2. Alcance
3. Antecedentes
4. Proyecto Céfiro: Un primer prototipo
5. Planos de configuración
6. Fabricación. Procesos CAD/CAM.
 - 6.1 Requisitos de herramientas
 - 6.2 Corte de piezas por Control Numérico Computerizado
 - 6.2.1 Piezas para el montaje del UAV
 - 6.2.2 Elementos para facilitar el proceso de construcción: Utillajes
7. Componentes del UAV
 - 7.1 Elementos propios del UAV
 - 7.2 Elementos asociados del UAV
8. Procesos de integración
 - 8.1 Equipado de grupos estructurales
 - 8.1.1 Sistema de mandos de vuelo
 - 8.1.2 Sistema de comunicaciones
 - 8.1.3 Planta de potencia
 - 8.1.4 Control de motor
 - 8.1.5 Sistema de combustible
 - 8.1.6 Tren de aterrizaje
 - 8.2 Procesos de integración estructural
 - 8.3 Procesos de integración de sistemas
 - 8.3.1 Conexionado del sistema de combustible
 - 8.3.2 Conexionado del sistema eléctrico.
9. Pruebas Funcionales
 - 9.1 Pruebas funcionales realizadas
 - 9.2 Resultados negativos de algunas pruebas funcionales
10. Análisis de coste del UAV Céfiro
11. Gestión del proyecto Céfiro
 - 11.1 [Actividades realizadas en el Proyecto Céfiro](#)
 - 11.2 [Planificación del las actividades realizadas en el Proyecto Céfiro](#)

12. Valoraciones personales

- 12.1 [Propuestas de mejora en el proceso de Fabricación](#)
- 12.2 [Propuestas de mejora en los procesos de Integración](#)
- 12.3 [Propuestas de mejora para las Pruebas Funcionales](#)

13. Anexos

- 13.1 ANEXO 1: Request for Proposal (RFP)
- 13.2 ANEXO 2: Lista de corte de componentes
- 13.3 ANEXO 3: Materiales empleados
- 13.4 ANEXO 4: Guía de información de los iconos empleados en el Catálogo Unceta
- 13.5 ANEXO 5: Instrucciones de operación del motor THOR 45
- 13.6 ANEXO 6: Manual del excitador de servos
- 13.7 ANEXO 7: Uniones

14. Referencias

- 14.1 Textos y direcciones web
- 14.2 Programas informáticos empleados

[Nota: Adicionalmente se entregan en formato electrónico los programas de corte generados con el software VCarve Pro.](#)

ACRÓNIMOS

Abreviación	Descripción
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
RFP	Request for Proposal
GPS	Ground Position System
GCS	Ground Control Station
RPV	Remote Piloted Vehicles
MTOW	Maximum Take-off Weight
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Control Numérico Computerizado
Al	Aluminio

LISTA DE IMÁGENES (por epígrafe)

1. Objeto

1.1 Céfire 01 instantes previos al segundo vuelo.

3. Antecedentes

- 3.1 Bombardero Aéreo de Perley
- 3.2 Cometa de vigilancia de Eddy
- 3.3 Torpedo aéreo de Sperry
- 3.4 Torpedo aéreo de Kettering
- 3.5 DH.82B Queen Bee
- 3.6 OQ-2A Radioplanes
- 3.7 V1
- 3.8 PB4Y – 1
- 3.9 Ryan AQM-34 Firebee transportado por un DC-130
- 3.10 D21
- 3.11 Ryan SPA 147
- 3.12 Firebee 1241
- 3.13 Scout
- 3.14 Pioneer
- 3.15 Shadow 400
- 3.16 Viking 100
- 3.17 Siva

6. Fabricación. Procesos CAD/CAM

- 6.1 Fases de Diseño y Fabricación
- 6.2 Control con 2 ½ Ejes
- 6.3 Fresadora High Z S-1000/T
- 6.4 Motor de fresado
- 6.5 Juego de pinzas de amarre de herramienta
- 6.6 Mesa de trabajo
- 6.7 Unidad de control
- 6.8 Máquina de cinta de sierra metálica
- 6.9 Taladro de banco
- 6.10 Lijadora
- 6.11 Herramienta de alineación y posicionamiento de agujeros
- 6.12 Herramienta para posicionar bisagras
- 6.13 Posicionamiento sobre borde de salida de un ala
- 6.14 Secuencia de doblado
- 6.15 Herramienta para doblado
- 6.16 Doblado de una varilla de mando
- 6.17 Cutter
- 6.18 Cuchilla de ranurado para bisagras
- 6.19 Soporte para lijado
- 6.20 Soldador
- 6.21 Metabo
- 6.22 Atornilladora Bosch
- 6.23 Juego de brocas
- 6.24 Esquema del proceso de corte CNC
- 6.25 Pantalla de inicio de VCarve Pro
- 6.26 Dimensiones de la tabla de trabajo
- 6.27 Configuración del material VCarve Pro
- 6.28 Editar vectores
- 6.29 Trayectorias de corte
- 6.30 Configuración del material
- 6.31 Trayectorias de herramientas
- 6.32 Base de datos de herramientas

- 6.33 Generando trayectoria de corte
- 6.34 Vista previa de trayectoria de herramientas
- 6.35 Pieza EA2
- 6.36 Agujero pieza EA2
- 6.37 Guardar trayectorias de herramientas
- 6.38 Ventana de entrada a WinPC-NC
- 6.39 Pieza EA2 en WinPC-NC
- 6.40 Parámetros de corte
- 6.41 Punto cero
- 6.42 Inicio del programa de corte
- 6.43 Energía específica de corte VS Espesor de viruta indeformada
- 6.44 Valores indicativos para la utilización de fresas
- 6.45 Fresa Garant de $\Phi 6\text{mm}$
- 6.46 Fresas A9 9000 / A9 9010 empleadas
- 6.47 Pruebas de corte
- 6.48 Rotura de una fresa de acero rápido de $\Phi 3\text{mm}$ durante el corte de contrachapado
- 6.49 Herramientas de acero rápido empleadas
- 6.50 Fresa de acero rápido con recubrimiento, de $\Phi 3\text{mm}$ con mango de $\Phi 6\text{mm}$
- 6.51 Fresa de rebordar de acero rápido, para corte de madera, de $\Phi 5\text{mm}$
- 6.52 Plantilla de corte 1 de Morro
- 6.53 Plantilla de corte 2 del Morro
- 6.54 Plantilla de corte 3 de Morro
- 6.55 Plantilla de corte 4 de Morro
- 6.56 Plantilla de corte 5 de Morro
- 6.57 Plantilla de corte 6 de Morro y Ala Central
- 6.58 Plantilla de corte del utillaje de alineación de Morro
- 6.59 Corte CNC de la plantilla 1 del Morro (plantilla antigua)
- 6.60 Corte CNC de piezas M11
- 6.61 Corte CNC de la cuaderna 6 de Morro
- 6.62 Proceso de montaje de morro. Cuadernas alineadas mediante utillaje mostrado en la imagen 6.61
- 6.63 Plantilla de corte 1 de Fuselaje Central
- 6.64 Plantilla de corte 2 de Fuselaje Central
- 6.65 Plantilla de corte 3 de Fuselaje Central
- 6.66 Plantilla de corte 4 de Fuselaje Central
- 6.67 Plantilla de corte 5 de Fuselaje Central
- 6.68 Plantilla de corte del utillaje de alineación de las cuadernas de Fuselaje Central
- 6.69 Cuaderna de Fuselaje Central ya preparada.
- 6.70 Proceso de alineación de las cuadernas de Fuselaje Central mediante utillaje
- 6.71 Plantilla de corte 1 de Ala Central
- 6.72 Plantilla de corte 2 de Ala Central
- 6.73 Plantilla de corte 3 de Ala Central
- 6.74 Plantilla de corte del utillaje de alineación de Ala Central
- 6.75 Empleo del utillaje espaciador de Ala Central durante la construcción
- 6.76 Plantilla de corte 1 de Extremo Ala
- 6.77 Plantilla de corte 2 de Extremo Ala
- 6.78 Plantilla de corte 3 de Extremo Ala
- 6.79 Plantilla de corte 4 de Extremo Ala
- 6.80 Plantilla de corte 5 de Extremo Ala
- 6.81 Plantilla de corte 6 de Extremo Ala
- 6.82 Plantilla de corte 7 de Extremo Ala
- 6.83 Plantilla 1 del utillaje de Extremo de Ala
- 6.84 Plantilla 2 del utillaje de Extremo de Ala
- 6.85 Distintas componentes de las plantillas de Extremo de Ala
- 6.86 Proceso de alineación de las costillas de Extremo de Ala mediante utillaje
- 6.87 Plantilla de corte 1 de Flap
- 6.88 Plantilla de corte 1 de Alerón
- 6.89 Plantilla de corte 1 de Estabilizador Horizontal
- 6.90 Plantilla de corte 1 de Timón de profundidad
- 6.91 Plantilla de corte 1 de Estabilizador Vertical

- 6.92 Plantilla de corte 1 del Timón de dirección
- 6.93 Algunos componentes de madera de balsa de 1/8" preparados para su montaje
- 6.94 Plantilla de corte 1 del Fuselaje Central
- 6.95 Plantilla de corte 2 del Fuselaje Central
- 6.96 Plantilla de corte 1 de Extremo de Ala
- 6.97 Plantilla de corte 1 de Extremo de Ala
- 6.98 Corte CNC de la plantilla 1 del Extremo de Ala en balsa de espesor 3/8"
- 6.99 Plantilla de corte 1 de Morro y Fuselaje Central
- 6.100 Plantilla de corte 1 de Morro y Estabilizador Horizontal
- 6.101 Plantilla de corte 1 de Morro, Estabilizador Vertical y Extremo de ala
- 6.102 Plantilla de corte 1 de Fuselaje Central
- 6.103 Plantilla de corte 1 de Ala Central
- 6.104 Plantilla de corte 1 de Fuselaje Central
- 6.105 Montaje de las piezas F19 bajo el suelo del Fuselaje Central
- 6.106 Plantilla de corte 1 del Morro y Fuselaje Central
- 6.107 Plantilla de corte 1 de Fuselaje Central
- 6.108 Plantilla de corte 1 de Morro y Fuselaje Central
- 6.109 Pieza M14 montada en el morro
- 6.110 Plantilla de corte 1 de Morro y Fuselaje Central
- 6.111 Pieza F7 con el refuerzo F13 ya colocado en su parte superior
- 6.112 Plantilla de corte 1 de Fuselaje Central
- 6.113 Plantilla de corte 1 de Ala Central
- 6.114 Proceso de corte de la placa de cogida de motor
- 6.115 Placa ya cortada
- 6.116 Proceso de corte del bloque de sujeción del tren auxiliar
- 6.117 Bloque de nylon para cogida de tren auxiliar terminado e integrado en la estructura de Morro
- 6.118 Plantilla de corte 1 del Utilaje de Morro y Fuselaje
- 6.119 Utilaje de morro cortado con CNC
- 6.120 Utilaje de morro montado
- 6.121 Estructura de morro colocada en utilaje
- 6.122 Plantilla de corte 1 del Utilaje del Extremo de Ala
- 6.123 Proceso de montaje del Extremo de Ala
- 6.124 Plantilla de corte 2 del Utilaje del Extremo de Ala
- 6.125 Plantilla de corte 3 del Utilaje del Extremo de Ala
- 6.126 Estructura de montaje del Extremo de Ala
- 6.127 Proceso de montaje del Extremo de Ala
- 6.128 Plantilla 1 Ala Central
- 6.129 Proceso de montaje del Ala Central
- 6.130 Plantilla de corte 2 del Ala Central
- 6.131 Extremo de Ala montado sobre el utilaje de Ala Central
- 6.132 Plantilla de corte 1 Estabilizador Horizontal
- 6.133 Proceso de montaje del Estabilizador Horizontal
- 6.134 Bloques de balsa
- 6.135 Borde de ataque en madera de balsa
- 6.136 Elaboración del cono de Morro en madera de balsa
- 6.137 Cono de morro colocado en la proa de Morro
- 6.138 Proceso de elaboración de los bordes marginales de Ala
- 6.139 Proceso de elaboración en el laboratorio de los bordes marginales
- 6.140 Componente EH 7
- 6.141 Proceso de acabado del componente EH 7

7. Componentes del UAV

- 7.1 Motor THOR 45
- 7.2 Módulo de ignición electrónica
- 7.3 Bujía para motor THOR 45
- 7.4 Batería para encendido del motor
- 7.5 Tanque de combustible
- 7.6 Conducciones de silicona para gasolina

- 7.7 Clips para asegurar conexiones de la línea de combustible
- 7.8 Válvula de paso del sistema de combustible
- 7.9 Instalación del filtro
- 7.10 Rotura de la boquilla de alimentación del tanque de combustible
- 7.11 Adaptación para tanque de combustible
- 7.12 Hélice de 22x18
- 7.13 Regulador de tensión
- 7.14 Receptor Futaba de 9 canales
- 7.15 Duo Batt
- 7.16 Servo digital S9451
- 7.17 Servo digital S9650
- 7.18 Servo digital S9351
- 7.19 Servo digital S9156.
- 7.20 Tacos de goma para la instalación de servos
- 7.21 Aros de goma para instalación de servos
- 7.22 Brazos para servos
- 7.23 Conectores simples
- 7.24 Conectores en Y
- 7.25 Batería de LiPo de 2200mAh (parte superior de la imagen). Batería LiPo 2000mAh (parte inferior de la imagen)
- 7.26 Detalle de montaje de una escuadra de mando
- 7.27 Escuadra de mando de timón de profundidad
- 7.28 "Screwlock Pushrod Connector"
- 7.29 Detalle del montaje de esta conexión
- 7.30 Montaje de este conjunto en el UAV Céfire
- 7.31 Terminales roscados con retenedor colocado
- 7.32 Ilustración de un kwik link asegurado
- 7.33 Terminales con cierre de seguridad
- 7.34 Terminales soldables
- 7.35 Acoples de acero
- 7.36 Soldado de un acople con una varilla de mando
- 7.37 Conjunto de conexión
- 7.38 Conjunto de conexión montado sobre una varilla de mando roscada
- 7.39 Detalle de montaje de esta conexión
- 7.40 Varillas de mando roscadas en los extremos
- 7.41 Varillas de mando roscadas
- 7.42 Bisagras para la unión borde de salida – flap
- 7.43 Alineación de bisagras
- 7.44 Despiece del tren delantero
- 7.45 Tren delantero
- 7.46 Atornillado del Tren principal al fuselaje
- 7.47 Rueda de morro
- 7.48 Colores de Monokote empleados
- 7.49 Adhesivos del extradós
- 7.50 Adhesivos en el lateral del morro
- 7.51 Piezas del filtro
- 7.52 Disposición de las piezas del filtro
- 7.53 Bomba manual para repostado
- 7.54 Conducción de silicona para repostado
- 7.55 Conducción para repostado y bomba manual instalados
- 7.56 Equipo de carga/descarga/equilibrado
- 7.57 Proceso de carga de la batería de motor
- 7.58 Maletín de transporte para emisora
- 7.59 Emisora Futaba T9CP Super PCM 1024
- 7.60 Excitador de servos
- 7.61 Equilibrado de una hélice.
- 7.62 Tacómetro digital
- 7.63 Plancha para recubrimiento
- 7.64 Calcetín para plancha
- 7.65 Guante de protección

7.66 Secador

7.67 Medidor de deflexión

8. Procesos de Integración

8.1 Instalación de servo y varilla de mando de motor

8.2 Enganche de la varilla de mando de motor con la palometa del carburador

8.3 Instalación varilla de mando - servo

8.4 Instalación varilla de mando - escuadra de mando

8.5 Defectos de montaje en la instalación de mandos de vuelo

8.6 Posición de los interruptores en la aeronave

8.7 Sistema de bandeja extraíble mediante guías acolchadas.

8.8 Disposición de elementos (baterías de LiPo y regulador de tensión) en la bandeja

8.9 Posición de la arteria de motor

8.10 Eje de transmisión desmontado

8.11 Colocación de la bujía en la cabeza del cilindro

8.12 Eje de transmisión atornillado al cuerpo principal

8.13 Montaje de hélice y tubo de escape

8.14 Instalación del módulo CDI

8.15 Paso del cable sensor

8.16 Paso del latiguillo de masa por trampilla de extradós del Fuselaje principal

8.17 Ubicación del tanque de combustible

8.18 Integración del mando del tren auxiliar

8.19 Integración del tren auxiliar en el Morro

8.20 Bloque de nylon con perforación para alojamiento del tren auxiliar

8.21 Integración de tren principal en Fuselaje Central

8.22 Integración real de tren principal en Fuselaje Central

8.23 Integración Morro - Fuselaje Central

8.24 Cuaderna de unión Fuselaje de Morro – Fuselaje Central

8.25 Cuaderna de unión Fuselaje Central – Fuselaje de Morro

8.26 Integración Timón de Dirección – Estabilizador Vertical

8.27 Integración real del Timón de Dirección con el Estabilizador Vertical

8.28 Integración Extremo de Ala - Ala Central

8.29 Integración real Extremo de Ala - Ala Central

8.30 Integración Tubo de Cola - Ala Central

8.31 Integración real Tubo de Cola - Ala Central

8.32 Integración Tubo de Cola - Estabilizador Horizontal

8.33 Integración real Tubo de Cola - Estabilizador Horizontal

8.34 Integración Ala Central – Fuselaje principal

8.35 Integración real de Ala Central – Fuselaje principal

8.36 Integración de la carga de pago

8.37 Instalación del bloque motor (Detalle inferior izquierdo: Silent blocks de diferente longitud)

8.38 Esquema de fijación Placa de Al – Firewall

8.39 Amortiguador + Escuadra

8.40 Ubicación de amortiguadores y silent blocks en Firewall

8.41 Esquema de fijación Motor – Placa de Al

8.42 Esquema de los procesos de integración en el UAV Céfire

8.43 Esquema del sistema de combustible

8.44 Conducción interior al tanque

8.45 Conducción de combustible hacia carburador

8.46 Salida a través del Firewall, del tubo de alimentación

8.47 Tapón del tanque de un tanque de combustible

8.48 Esquema de las conexiones en un tanque de combustible

8.49 Esquema eléctrico del UAV Céfire

8.50 Conducción de los cables de señal de alerón y flap

8.51 Esquema de conexiones de servos de Extremo de Ala con receptor

8.52 Esquema de conexiones de servos de cola con receptor

8.53 Conexión del sistema electrónico de motor

8.54 Mando de gases

8.55 Disposición del cable de antena de recepción

9. Pruebas Funcionales

- 9.1 Prueba Funcional del sistema de mandos de vuelo del UAV Céfiro
- 9.2 Conexiones de las superficies de control de Alas
- 9.3 Conexiones de las superficies de control de Cola
- 9.4 Controles de la emisora Futaba T9CP Super PCM 1024 para UAV Céfiro
- 9.5 Reglaje de mandos de vuelo, Timón de Profundidad
- 9.6 Soportes para elevar el avión
- 9.7 Cogida varilla de mando - Tren Auxiliar
- 9.8 Método de las 3 Normales, equilibrio de fuerzas en eje vertical
- 9.9 Prueba Funcional de pesaje. Báscula bajo rueda de Tren Auxiliar
- 9.10 Prueba funcional de pesaje, Báscula bajo rueda izquierda de Tren Principal
- 9.11 Vista trasera de la bancada para rodaje de motor
- 9.12 Vista frontal de la bancada y posicionamiento de motor en ella
- 9.13 Bancada con motor instalado y pesos colocados
- 9.14 Ejecución de la prueba, medición de las RPM de hélice
- 9.15 Ejecución de la prueba con motor Graupner G58, dinamómetro y cámara web
- 9.16 Medición de los valores de empuje
- 9.17 Empuje vs RPM para motor Graupner G58
- 9.18 Mapa seguido para prueba funcional de rango de la señal radiada
- 9.19 Defecto revelado durante una prueba de rodaje de motor
- 9.20 Defectos previa prueba de continuidad de conexiones eléctricas

11. Gestión del proyecto Céfiro

- 11.1 Calendario Laboral Proyecto Céfiro
- 11.2 Resumen de Calendario
- 11.3 Asignación de la fecha de comienzo al Proyecto Céfiro

12. Conclusiones

- 12.1 1ª Alternativa de sujeción de los tubos de cola (vista isométrica izquierda y derecha).
- 12.2 2ª alternativa de sujeción de tubos de cola
- 12.3 Compuerta del Céfiro 01 y propuesta para Céfiro 02
- 12.4 Nueva placa de cogida para motor
- 12.5 Nueva placa de cogida de motor mecanizada mediante CNC
- 12.6 Bancada para rodaje de motor con raíles
- 12.7 Dinamómetro para medida del empuje

13. Anexos (Las imágenes de los Anexos 5 y 6 no serán numeradas, ya que pertenecen a documentos en formato pdf protegidos contra la escritura)

- 13.1 Materiales empleados en el UAV Céfiro
- 13.2 Listones de balsa para borde de ataque
- 13.3 Planchas de madera de balsa
- 13.4 Planchas de contrachapado
- 13.5 Superposición de capas en la madera de contrachapado
- 13.6 Listones de pino
- 13.7 Listones de picea
- 13.8 Guía de información de los iconos empleados en el Catálogo Unceta
- 13.9 Tornillo para llave Allen 4-40 x 3/4".
- 13.10 Tornillo para destornillador de punta plana, métrica 5mm
- 13.11 Tornillos 4-40 en una escuadra de mando, y una varilla de transmisión
- 13.12 Unión atornillada en los agarres de acero de los tubos de cola – estructura del Estabilizador Horizontal
- 13.13 Unión atornillada en la cogida del tren delantero
- 13.14 Unión atornillada de las cuernas del Fuselaje principal a largueros del Ala Central
- 13.15 Tuerca de autobloqueo con insertos de nylon, métrica 4
- 13.16 Tuerca convencional de métrica 4
- 13.17 Tuerca ciega o de clavar de métrica 3
- 13.18 Colocación de una tuerca de clavar

- 13.19 Tuercas de clavar en la compuerta de Morro
- 13.20 Tuercas de clavar en la cogida Motor – Firewall
- 13.21 Tuerca de clavar en la unión Ala Central - Ala Extremo
- 13.22 Arandela convencional de métrica 4
- 13.23 Arandela de cierre (Grower) de métrica 4
- 13.24 Inserto roscado métrica 4
- 13.25 Colocación de un inserto
- 13.26 Insertos roscados en la unión Morro - Fuselaje
- 13.27 Presilla de acero
- 13.28 Sujeción del tren de morro mediante presilla
- 13.29 Equipo para soldadura con llama
- 13.30 Encendido de la pistola y ajuste de la llama
- 13.31 Encendido de la pistola y ajuste de la llama
- 13.32 Equipo de soldadura por llama
- 13.33 Fundiendo el metal de aporte en forma de varilla mediante llama
- 13.34 Cogida subalar del Tubo de Cola previa soldadura (zona superior derecha de la fotografía)
- 13.35 Soldando la cogida para los tubos de cola
- 13.36 Conjunto soldado
- 13.37 Soldadura de conectores de batería
- 13.38 Soldador
- 13.39 Soldando conectores de una batería, aplicando calor a una funda termo retráctil
- 13.40 Tiras de velcro
- 13.41 Baterías y regulador de tensión alojados mediante velcro sobre una tabla de contrachapado
- 13.42 Baterías y receptor unidos mediante velcro, y asegurados a través de bridas convencionales, a una tabla de contrachapado
- 13.43 Brida con base adhesiva
- 13.44 Alfileres colocados para asegurar la unión del timón de dirección
- 13.45 Alfileres en T
- 13.46 Esquema del sistema para asegurar bisagras

LISTA DE TABLAS (por epígrafe)

3. Antecedentes

Tabla 3.1 Clasificación de los UAVs

4. Proyecto Céfire: Un primer prototipo

Tabla 4.1 Características del UAV Céfire

5. Planos de configuración

Tabla 5.1 Glosario de planos

Tabla 5.2 Información de planos

9. Pruebas Funcionales

Tabla 9.1: Datos de peso del UAV

Tabla 9.2: Datos para aplicar método de las Tres Normales

10. Análisis de coste del UAV Céfire

Tabla 10.1 Coste directos del UAV Céfire

Tabla 10.2 Coste de los elementos de planta de potencia

Tabla 10.3 Coste del sistema de combustible

Tabla 10.4 Hélice

Tabla 10.5 Coste de las herramientas de alineamiento y medida

Tabla 10.6 Coste de las herramientas de recubrimiento

Tabla 10.7 Coste de los elementos del sistema de comunicaciones

Tabla 10.8 Coste de servos y conectores

Tabla 10.9 Coste de baterías

Tabla 10.10 Coste de Adhesivos

Tabla 10.11 Coste de Tornillería

Tabla 10.12 Coste de herramientas para construcción

Tabla 10.13 Coste de elementos de transmisión

Tabla 10.14 Coste del primer pedido de maderas

Tabla 10.15 Coste del segundo pedido de maderas

Tabla 10.16 Coste de recubrimientos y pintura

Tabla 10.17 Coste de tren de aterrizaje

Tabla 10.18 Coste de los tubos de cola

11. Gestión del proyecto Céfire

Tabla 11.1 Actividades Generales o Tareas del proyecto

Tabla 11.2 Actividades Generales y sub-actividades del proyecto

Tabla 11.3 Tabla de resumen del proyecto

13. Anexos (Las tablas del Anexo 5 no se numeran ya pertenecen a documentos en formato pdf protegidos contra la escritura)

Tabla 13.1 Listas para corte de componentes mediante control numérico

Tabla 13.2 Características principales del proceso de soldadura por llama

1. OBJETO

El objetivo del Proyecto Céfiro es diseñar y construir un vehículo aéreo no tripulado, UAV, del inglés *Unmanned Aerial Vehicle*, con fines de observación y monitorización de áreas terrestres. El UAV propuesto se ha bautizado con el nombre de Céfiro, en la mitología griega *Ζέφυρος* – *Zephyros*, dios del viento del Oeste.

Profundizando en esta idea, el proyecto Céfiro, integrado por cinco alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla, y respaldado por el Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos, tiene como propósito sentar las bases para la investigación y experimentación con UAVs en este departamento. Conceptualmente se trata de construir un prototipo sobre el que se puedan hacer posteriores mejoras, rediseños, con el propósito final de investigar, desarrollar e integrar en él diferentes subsistemas.

En la imagen 1.1 se muestra la realidad de este objetivo: el prototipo Céfiro 01 momentos antes de alzar el vuelo.



Imagen 1.1: Céfiro 01 instantes previos al segundo vuelo. Fuente: Elaboración propia

2. ALCANCE¹

El alcance del proyecto **comprende** la construcción en base a un diseño ceñido a las especificaciones dadas en el documento **de requisitos técnicos** *Request for Proposal* (RFP) que se adjunta en el epígrafe **13.1 ANEXO 1**. A partir de esos detalles de diseño se propone un modelo que cumple dos máximas: coste reducido y maximización del uso de materiales convencionales en sistemas de radio control. Se busca entregar una propuesta técnica que aborde 5 áreas diferentes:

1. Diseño aerodinámico.
2. Análisis de estabilidad y control.
3. Análisis de actuaciones y planta propulsora.
4. Diseño estructural y construcción.
5. Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales.

En particular este documento estudia la quinta de las áreas anteriores. Toda aquella información que **ha sido** necesaria para el desarrollo de este proyecto y que **pertenece** a alguna de las otras cuatro áreas se ha empleado con el consentimiento expreso de los alumnos encargados del desarrollo de las mismas.

Se considera, por tanto, que el objetivo fundamental de la quinta sección es cumplimentar los requisitos del RFP, implementando un diseño económico y atractivo para una empresa que desee invertir en el creciente negocio de los UAVs, y en particular, en esta aeronave. Se debe resaltar que el objetivo anterior está ligado a un trabajo de ingeniería concurrente, es decir, en todo momento se ha interactuado con las otras áreas de trabajo para alcanzar una solución de compromiso lo más óptima posible.

Por último es deseable destacar que el título escogido para el proyecto que se presenta, no limita la información que en él se incluye, es decir, que además de la Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales, recoge otros estudios que no tienen lugar en las demás áreas de trabajo; en concreto, incluye aspectos económicos y de gestión de proyectos.

¹ Este epígrafe está basado en

[42] Sergio Esteban Roncero. "Request for proposal. Reconnaissance Unmanned Aerial Vehicle (RUAV)", Sevilla, curso 2007/2008

3. ANTECEDENTES²

Antes de acometer un proyecto como [el que aquí se presenta](#), es conveniente recopilar y presentar información acerca de qué se entiende por UAV, cuáles son sus rasgos distintivos, qué misiones desempeñan, etc. Se verá también qué UAVs similares al Céfire existen en el mercado actual y la evolución que ha existido en esta tecnología desde su nacimiento.

Con anterioridad se ha avanzado que un UAV es un vehículo aéreo no tripulado; se debe añadir a esta breve definición que puede ser radiocontrolado o teleoperado, o bien puede volar autónomamente, contando para ello con sistemas sofisticados de navegación, guiado y control de vuelo y de misión.

Entre otros subsistemas de abordaje es habitual encontrar los siguientes:

- [Cámara: para monitoreo de áreas terrestres.](#)
- [Sistemas de despegue/aterrizaje:](#)
 - o [Tren de aterrizaje fijo: los UAVs suelen estar dotados de un sistema de tren de aterrizaje fijo, habitualmente con una configuración de tipo triciclo, para operar en pistas ligeramente preparadas.](#)
 - o [Rampas de lanzamiento: estos sistemas, de actuación neumática, permiten despegar sin dependencia de pistas \(aplicaciones civiles\)](#)
 - o [Lanzadores cohete: dispositivos de lanzamiento de baja emisión de humos y señal infrarroja \(aplicaciones militares\).](#)
 - o [Sistemas terrestres de captura: permiten aterrizar sin necesidad de pistas, aunque a cambio precisan de: parada de motor, paracaídas y bolsas de aire en la zona ventral de la aeronave para amortiguación de impactos.](#)
- [Planta propulsiva: las que usualmente portan los UAVs de tamaño medio \(envergadura del orden de 3 - 5 metros\) están basadas en motores alternativos + hélice.](#)
- [Carga útil: está directamente relacionada con la aplicación militar que tienen estas aeronaves, que a día de hoy son las dominantes. Por tanto, es habitual encontrar sensores electroópticos para detección y seguimiento de blancos en tiempo real, equipos de observación \(Radares de Apertura Sintética\) o de detección y perturbación de señales electrónicas, etc.](#)
- [Sistemas embarcados: se pueden encontrar diversas variantes que habitualmente están configuradas a base de sensores de vuelo \(Unidad de Medidas Inerciales, Magnetómetros, Sensores de Datos de Aire, Receptores GPS...\).](#)
- [Servoactuadores: para el movimiento de las superficies de control, operación de la dirección del tren delantero, del sistema de despliegue de paracaídas, del sistema acelerador del motor, etc.](#)
- [Potencia eléctrica: suministro de energía eléctrica para los sistemas de abordaje a través de generadores o baterías con sus correspondientes elementos auxiliares.](#)

Asimismo debe mencionarse la presencia de una Estación de Control de Tierra (en inglés Ground Control Station, GCS) cuyas funciones principales son: planificación de misión, control y seguimiento del UAV, control de carga de pago, control de la misión en tiempo real, procesado de imágenes y datos y comunicaciones tácticas.

² Este epígrafe está basado en

[21] <<http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/ABarrientos-CEDI2007.pdf>>

[25] <<http://www.aaicorp.com/>, www.baiaerosystems.com, <http://www.uav-info.com/pdf/abbreviation.pdf>>

[26] <www.inta.es>

[27] <<http://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs.html>>

Particularizando al caso bajo estudio, es evidente que por motivos económicos este UAV no porta sistemas tan sofisticados como algunos de los anteriores. Además debe tenerse en cuenta que el Céfire es un prototipo y por tanto, todavía no es apto para transportar sistemas tan caros y complejos, tarea que está pensada para **ser implementada en futuras versiones de este prototipo**.

Con objeto de tener una perspectiva más amplia de los UAVs es esencial conocer someramente la Historia de desarrollo de esta tecnología. Así pues, ¿Cómo se inició todo?; El mayor impulso se produjo a finales de los años setenta cuando se empezó a trabajar activamente en la idea de aeronaves no tripuladas para desarrollar misiones peligrosas sin arriesgar la vida de la tripulación y aparecieron los primeros modelos de *Remote Piloted Vehicles* (RPV), antecesores de los UAVs. Fueron los Estados Unidos de América y poco después Israel los países pioneros en el campo de los sistemas de vuelo no tripulados, lo cual explica que a día de hoy sean líderes destacados de esta tecnología.

Los inicios de esta tecnología se remontan en el tiempo más allá de los años 70. En efecto, véase la evolución temporal:

1. Antecedentes de los UAV

Años antes del primer vuelo tripulado (Hermanos Wright, 17 de Diciembre de 1903) se **explotaron** versiones muy primitivas de la tecnología UAV en operaciones de combate y vigilancia. **En particular se emplearon** del *Bombardero Aéreo* de Perley (EEUU) (**imagen 3.1**) y la *Cometa de Vigilancia* de Eddy (EEUU) (**imagen 3.2**).

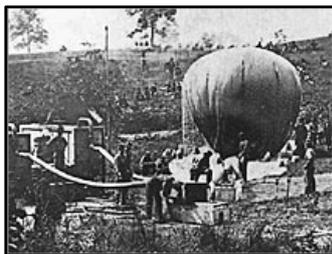


Imagen 3.1 (izquierda): Bombardero Aéreo de Perley / Imagen 3.2 (derecha): Cometa de Vigilancia de Eddy. Fuente: [27]

2. Primera década del siglo XX (años 10)

Durante la Primera Guerra Mundial tuvieron lugar los primeros vuelos de prueba para UAV en EEUU aunque con resultados poco satisfactorios. En esta línea encontramos el *Torpedo Aéreo* de Sperry (EEUU) (primer UAV radiocontrolado construido a partir de la modificación de una aeronave Curtiss N-9) (**imagen 3.3**) y el *Torpedo Aéreo* de Kettering (USA) (**imagen 3.4**).

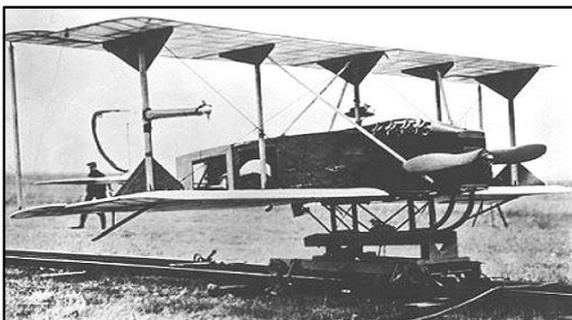


Imagen 3.3 (izquierda): Torpedo Aéreo de Sperry / Imagen 3.4 (derecha): Torpedo Aéreo de Kettering. Fuente: [27]

3. Finales de los años 30

Tras un período de inactividad, ya en las postrimerías de la Primera Guerra Mundial aparecen nuevos UAV empleados como herramientas para entrenamiento en combate. Como destacados en esta etapa se pueden citar al *DH.82B Queen Bee* (UK) (UAV radiocontrolado usado como objetivo en misiones de entrenamiento de las fuerzas aéreas británicas) (imagen 3.5) y al OQ-2A de la empresa Radioplanes (USA) (actual Northrop/Grumman) (imagen 3.6) que también servían como blanco para el entrenamiento de las fuerzas aéreas estadounidenses.



Imagen 3.5 (izquierda): DH.82B Queen Bee / Imagen 3.6 (derecha): OQ-2A Radioplanes.
Fuente: [27]

4. Década de los 40

Durante la Segunda Guerra Mundial los alemanes pusieron en funcionamiento el modelo V-1 (imagen 3.7) cuya misión era dejar caer una bomba sobre la región objetivo. La respuesta de los estado unidenses contra esa tecnología se basó en la modificación de aeronaves B-17, transformándolas en vehículos teleoperados y controlados por control remoto: modelos PB4Y-1 (imagen 3.8) y BQ-7.



Imagen 3.7 (izquierda): V1 / Imagen 3.8 (derecha): PB4Y-1. Fuente: [27]

5. Década de los 60

Desde su uso en operaciones militares esa fue la línea de desarrollo de los UAVs que en esta época se emplearon en Vietnam como vehículos espía y de vigilancia. Los modelos usados fueron el *Ryan AQM-34 Firebee* (USA) (imagen 3.9) transportado y lanzado desde un DC-130. El otro modelo empleado fue el *D-21* (imagen 3.10) desarrollado por Lockheed (USA), el UAV más rápido de la historia que era transportado y lanzado desde la "espalda" de un SR-71 pilotado.



Imagen 3.9 (izquierda): Ryan AQM-34 Firebee transportado por un DC-130 / Imagen 3.10 (derecha): D21.
Fuente: [27]

6. Década de los 70

El éxito del UAV *Ryan AQM-34 Firebee* continuó tras la guerra de Vietnam y fue tal, que marcó el desarrollo de estos aviones desde entonces hasta nuestros días. Durante estos años EEUU construyó el *Ryan SPA 147* (imagen 3.11), que fue el primer UAV de vuelo a larga distancia y a gran altitud que portaba una cámara para fotografiar el terreno. También en esta época Israel desarrolló un UAV a partir de la compra secreta a EEUU de su modelo *Ryan AQM-34 Firebee* (imagen 3.12), al que llamó *Firebee 1241* y que jugó un papel importante en la guerra del Yom Kippur, como vehículo de reconocimiento y de señuelo.



Imagen 3.11 (izquierda): Ryan SPA 147 / Imagen 3.12 (derecha): Firebee 1241.
Fuente: [27]

7. Década de los 80

Durante finales de los 70 y los 80 Israel revolucionó la tecnología UAV creando nuevos modelos que fueron incorporados a las flotas de muchos países incluyendo los EEUU. Destacan el modelo *Scout* (imagen 3.13) y el *Pioneer* (imagen 3.14), ambos israelíes.



Imagen 3.13 (izquierda): Scout / Imagen 3.14 (derecha): Pioneer.
Fuente: [27]

8. Década de los 90 hasta nuestros días

Se ha señalado con anterioridad que conforme a ese propósito inicial de salvaguardar la integridad del piloto en misiones peligrosas se impulsó el desarrollo de la tecnología UAV en el sector militar. Es por ello por lo que las aplicaciones principales que tienen estas aeronaves en el presente son de vigilancia, reconocimiento de blancos y objetivos, etc. No obstante la tendencia actual es el incremento de las inversiones en investigación de esta tecnología por parte de universidades y empresas, además del establecimiento de las regulaciones del espacio aéreo de estos aparatos u otros como el Congreso Internacional de UAV, que evidencian que existe una búsqueda incisiva de aplicaciones más allá del mundo militar que demuestren el potencial y la probada capacidad de estos sistemas. Sin ir más lejos algunas de las aplicaciones civiles inmediatas que se valoran son: detección y control de incendios, detección de bancos de pesca, control de cosechas, control de tráfico de carreteras, vigilancia medioambiental, vigilancia de fronteras, evaluación de daños, etc.

Algunos UAVs empleados en la actualidad, que presentan rasgos similares al Céfire en ciertos aspectos de configuración, como pueden ser: la presencia de tubos de cola, tren de aterrizaje fijo en configuración triciclo, ala alta, configuración de planta de potencia tipo *pusher*, etc., se presentan en las imágenes 3.16 – 3.18.



Imagen 3.15: Shadow 400. Fuente: [26]

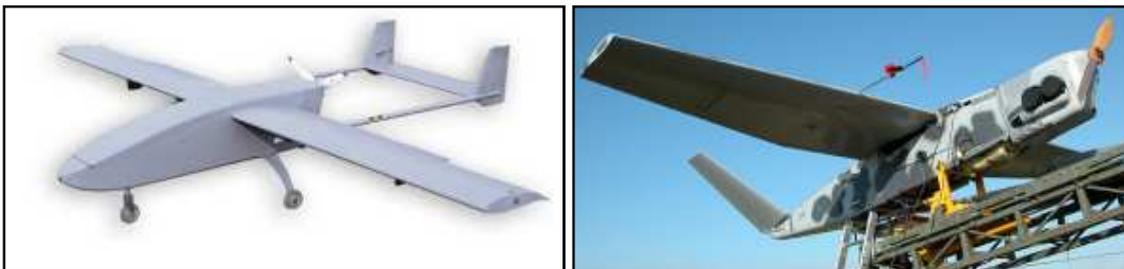


Imagen 3.16 (izquierda): Viking 100. Fuente: [24]

Imagen 3.17 (derecha): SIVA. Fuente: [25]

Otros modelos de entre la gran variedad que existen actualmente se pueden encontrar en el documento *Worldwide UAV Roundup* (para una información amplia consultar la siguiente dirección web <<http://www.aiaa.org/images/PDF/WilsonChart.pdf>>).

Por último, tras haber estudiado brevemente el concepto de UAV y su evolución histórica es conveniente establecer una categorización de estas aeronaves. ¿Qué clasificación de la tecnología UAV se puede hacer y dónde se engloba el UAV Céfire? En realidad es tal la variedad de estas aeronaves que existe a día de hoy que no es sencillo realizar una única clasificación. En efecto, existen varias formas de catalogar un UAV, aunque aquí sólo se exponen las más extendidas, que son dos atendiendo a:

- 1 - La aplicación: civil o militar.
- 2 - Las características y capacidades de vuelo.

1 - Clasificación según la aplicación:

- De blanco
- Reconocimiento
- Combate
- Logística
- Investigación y desarrollo
- Comercial y civil

En relación a esta primera clasificación, se puede decir que el UAV Céfiro se engloba dentro de las aplicaciones tercera, cuarta y quinta.

2- Clasificación según las características y capacidades de vuelo:

Categoría	Acrónimo	Alcance (km)	Altitud de vuelo (m)	Autonomía (hr)	MTOW (Kg)
Micro	Micro-UAV	Inferior a 10	250	1	Inferior a 5
Mini	Mini-UAV	Inferior a 10	150 – 300	Inferior a 2	Inferior a 30
Alcance cercano	CR UAV	10 – 30	3000	2 – 4	150
Alcance corto	SR UAV	30 – 70	3000	3 – 6	200
Alcance medio	MR UAV	70 – 200	5000	6 – 10	1250
Altitud baja Penetración profunda	LADP UAV	Superior a 250	50 – 9000	0.5 – 1	350
Autonomía y Alcance medios	MRE UAV	Superior a 500	8000	10 – 18	1250
Autonomía alta Altitud baja	LALE UAV	Superior a 500	3000	Superior a 24	Inferior a 30
Autonomía alta Altitud media	MALE UAV	Superior a 500	14000	24 – 48	15000
Autonomía alta Altitud alta	HALE UAV	Superior a 2000	20000	24 – 48	12000
Combate	UCAV	Aprox. 1500	10000	Aprox. 2	10000
Ofensivo	LETH UAV	300	4000	3 – 4	250
Señuelo	UTAV	Hasta aprox. 50	5000	Inferior a 4	250
Estratosférico	STRATO UAV	Superior a 2000	20000 – 30000	Superior a 48	No disponible
Exo-estratosférico	EXO UAV	No Disponible	Superior a 30000	No Disponible	No disponible

Tabla 3.1 Clasificación de los UAVs. Fuente: [21]

Según esta clasificación el UAV Céfiro se enmarcaría como: de alcance inferior a 180Km (cargando 2Kg de combustible), altitud de vuelo inferior a 5000m aprox. a MTOW, de baja autonomía (de 1 a 2hr, según la carga de combustible transportada), con MTOW inferior a 35Kg. Podría ser por tanto catalogado como de alcance cercano aunque evidentemente con variaciones importantes respecto a los números de la tabla anterior.

4. PROYECTO CÉFIRO: UN PRIMER PROTOTIPO

El proyecto Céfiro es el primer programa de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla enfocado a la construcción de una aeronave de estas características. Desde finales de 2007 el Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos lidera la aspiración de conseguir una plataforma con el propósito final de investigar, desarrollar e integrar en ella diferentes subsistemas. Tras las etapas de Diseño (Sept. 2007 – Oct. 2008 -Cálculo de Aviones-) y Construcción (Oct.2008 – Mayo 2009 –Laboratorio de Ingeniería Aeroespacial-) el proyecto culminó en Mayo de 2009, con la entrega del prototipo Céfiro 01 (al que se hará alusión en este documento simplemente como Céfiro), un sistema de bajo coste (que emplea componentes *Off-The-Shelf* extensamente probados) preparado para misiones de observación y reconocimiento, que requiere para su operación de una pista someramente preparada, y que además ha sido diseñado según un concepto modular, siendo muchas de sus unidades fácilmente intercambiables, reparables y transportables (los módulos que constituyen este UAV son: fuselaje dividido en dos partes*, grupo alar en tres partes y cola integrada con el ala por medio de dos tubos de cola). Otras características particulares con las que cuenta el Céfiro son:

CARACTERÍSTICAS PROPIAS DEL UAV CÉFIRO	
	
DIMENSIONES (m)	
Envergadura	2.9
Longitud	2.7
Altura (con tren)	0.85
PESOS (kg)	
Máximo al despegue (MTOW)	25.6
Carga de pago máxima	7.5
Máximo de combustible	2 (posibilidad de aumentar sustituyendo carga de combustible por carga de pago)
ACTUACIONES	
Velocidad crucero (Km/hr)	90-140
Velocidad máxima ascensional (m/s)	3.2
Velocidad de máximo alcance (Km/hr)	74

* El Fuselaje se ha dividido en dos secciones designadas como: Fuselaje de Morro y Fuselaje Central o Principal. En ocasiones a lo largo de este documento se hará alusión a dichos módulos simplemente como Morro y Fuselaje respectivamente.

Velocidad de máxima autonomía (Km/hr)	65
Velocidad de entrada en pérdida limpia (Km/hr)	54.3
Velocidad de entrada en pérdida sucia (Km/hr)	47
Techo a MTOW (m)	1500
Alcance máx. (Km)	100
Autonomía máxima (hr)	1.4
Distancia de despegue (m)	180 (59 m de rodadura)
Distancia de aterrizaje	613 (78 m de rodadura)
CARGA DE PAGO (Kg)	
Cámara	NO en esta versión
Plomada o Lastre	3.6 (puede portar hasta 10Kg según las especificaciones de diseño para las que ha sido diseñado)
GRUPO MOTOR	
Modelo	THOR 45 CDI PETROL ENGINE
Tipo	Motor alternativo de un cilindro, dos tiempos
Configuración	<i>Pusher</i>
Potencia	4.2 Hp
Cubicaje	45 cc ³
Hélice	22x18 (pulgadas)
NAVEGACIÓN	
Modos de vuelo	Controlado manualmente desde tierra

Tabla 4.1: Características del UAV Céfiro. Fuente: Elaboración propia a partir de [40]

5. PLANOS DE CONFIGURACIÓN³

Los planos de configuración muestran distintas vistas de las secciones o módulos que conforman el UAV. Se debe remarcar la utilidad de estos planos [en cuanto a que](#) son esenciales en el proceso de fabricación (corte y montaje), ya que con estos, todos los operarios serán capaces de visualizar una determinada pieza (geometría, espesor, material y nombre asignado) y localizar su lugar de montaje. No obstante se puede pensar que la disponibilidad de planos acotados es muy importante en la fabricación, y así es, sin embargo en este caso no es algo necesario porque todas las piezas que componen el UAV han sido diseñadas en CATIA V5, y de aquí han sido exportadas a un software de programación de trayectorias de corte. [Los programas de corte generados con dicho software permiten obtener las dimensiones exactas establecidas previamente en CATIA V5 \(con una precisión de corte de una décima de milímetro gracias a una máquina de control numérico\). Por tanto es cierto que unos planos acotados constituyen una información muy completa, sin embargo, generarlos es un trabajo excesivamente costoso y por eso se ha optado por unos planos de configuración, que también son una fuente de información muy valiosa. En línea con esta idea, los planos que se han generado con CATIA V5, se compendian en la tabla 5.1 y se exponen al término de este epígrafe.](#) La nomenclatura de cada plano se ha realizado de la siguiente manera: En primer lugar figuran las siglas CF que guardan relación con el nombre del UAV: Céfiro. Seguidamente aparece DOC/, lo cual indica “documento perteneciente a”. Tras esto, se escribe la inicial de la sección modular que se representa en el plano, esto es:

- Morro: M
- Fuselaje: F
- Ala central: AC
- Extremo de Ala: EA

³ Este epígrafe está basado en

[41] Daniel Pérez Alcaraz. “Diseño estructural y construcción de avión no tripulado: El proyecto Céfiro”, Sevilla, curso 2008/2009

- Alerón: A
- Flap: FP
- Estabilizador horizontal: EH
- Timón de profundidad (en inglés elevator): E
- Estabilizador vertical: EV
- Timón de dirección (en inglés rudder): R

Finalmente estos caracteres son seguidos de un número para indicar cuántos planos del módulo concreto se han generado. Para entender con claridad esta notación ver la tabla 5.1.

GLOSARIO DE PLANOS	
Plano general	CF-DOC/3 vistas
Planos del morro (Fuselaje de Morro)	
	CF-DOC/M1
	CF-DOC/M2
Planos del fuselaje (Fuselaje Principal o Central)	CF-DOC/F1
	CF-DOC/F2
Planos del ala	
	Plano Ala Central CF-DOC/AC1
	Plano Ala Extremo CF-DOC/EA1
	Plano Alerón CF-DOC/A1
	Plano Flap CF-DOC/FP1
Planos de la cola	
	Plano del Estabilizador Horizontal CF-DOC/EH1
	Plano del Timón de Profundidad CF-DOC/E1
	Plano del Estabilizador Vertical CF-DOC/EV1
	Plano del Timón de dirección CF-DOC/R1

Tabla 5.1 Glosario de planos. Fuente: elaboración propia

De forma particular dentro de cada plano también se tiene una nomenclatura que no es caprichosa. Para ilustrar esta idea, tómese el plano CF-DOC/M2. Se puede comprobar que las piezas se numeran tras la inicial de la sección que se representa en dicho plano, esto es M10, M11, etc. y así sucesivamente. Puede ser que para un determinado módulo del UAV, existan piezas de igual geometría. Así, para el ejemplo en cuestión obsérvese que existen cuatro refuerzos laterales de largueros (componentes M12), que se nombran como M12.1, M12.2, M12.3 y M12.4. Esto indica que son piezas iguales y además, permite saber la cantidad de las mismas que existen en el plano en cuestión.

De cualquier forma esta última información también puede encontrarse a pie de plano, en el borde inferior derecho donde se presenta una tabla con la siguiente información:

SECCIÓN. LISTA DE COMPONENTES EN EL PLANO				
PART NUMBER	NÚMERO DE UNIDADES	MATERIAL	ESPESOR (pulgadas)	NOMBRE

Tabla 5.2: Información de planos. Fuente: Elaboración propia

En la primera fila, donde aparece la palabra “SECCIÓN”, se escribe el nombre del módulo que se representa en el plano, e.g. MORRO, FUSELAJE, ALA CENTRAL, etc. La información por columnas indica:

- Columna nº 1 (“PART NUMBER”): recoge los componentes que se señalan en el plano (M10, M11, M12.1...).
- Columna nº 2 (“NÚMERO DE UNIDADES”): indica cuántas piezas iguales existen de ese componente señalado en el plano.
- Columna nº 3 (“MATERIAL”): refleja el material del que está hecho cada componente (madera, nylon y acero).
- Columna nº 4 (“ESPESOR”): muestra el espesor de la pieza en pulgadas (por comodidad se ha optado por trabajar en estas unidades dado que las materias primas -planchas de madera- se han comprado en Inglaterra y sus dimensiones vienen dadas en pulgadas).
- Columna nº 5 (“NOMBRE”): señala el calificativo que se ha dado a cada pieza (por ejemplo, la pieza M10 tiene por “NOMBRE” Cruce intermedio de la cuaderna del encastre)

6. FABRICACIÓN. PROCESOS CAD/CAM⁴

En este epígrafe se describen las técnicas de fabricación empleadas en el proceso de construcción del Céfiro. Como se comentó con anterioridad entre los objetivos de partida existen dos máximas: fabricar a coste reducido y potenciar el uso de materiales *Off-The-Shelf*, materiales convencionales fácilmente accesibles en el mercado. Es lógico que fabricar con el menor coste posible conlleva una planificación, una gestión adecuada del proceso de producción, y por supuesto una optimización del mismo. Respecto a la gestión, un estudio detallado de la misma se recoge en el epígrafe 11. *Gestión del proyecto Céfiro*.

Resulta evidente que el concepto de optimización está íntimamente ligado con otros campos como: el diseño, la planificación del producto, el presupuesto económico disponible, la selección de materiales o los procesos de fabricación, y a su vez dichos campos están interconectados entre sí. De esta forma, adquirir materiales económicos y fácilmente trabajables permite una fabricación rápida, lo que recorta los tiempos de fabricación, incurriendo en definitiva en un ahorro económico importante, lo cual no es más que una optimización económica traducida en términos de tiempo.

Analizando el área de Diseño, no es difícil comprender que un diseño bien meditado puede facilitar la fabricación, y yendo más allá, la reparación y el mantenimiento del producto. En efecto, supóngase que el producto ha sido diseñado de tal forma que para acceder a una zona existe una pequeña compuerta en la superficie (por ejemplo las compuertas localizadas en el intradós del ala que permiten acceder a los servos que controlan las superficies de control), sin embargo, en el diseño no se ha previsto que para acceder de forma cómoda a los tornillos de montaje de los servomecanismos, la compuerta debería ser más grande. **En situaciones como la anteriormente descrita se entra en conflicto con la fabricación puesto que no es posible instalar los servomecanismos. De acuerdo con esta situación, recuérdese que tradicionalmente el diseño ha estado separado de los otros campos que intervienen en el desarrollo del producto, y así el Ingeniero de Fabricación tenía que planificar la fabricación de un producto en el que no participó en ningún aspecto de su diseño. Ello suponía una pérdida de tiempo considerable, una complicación para la fabricación y por tanto una pérdida económica que podía llegar a ser importante.**

Con todo lo anterior, lo que se pretende es demostrar que la fabricación es un proceso complejo, muy supeditado a otras áreas de la Ingeniería, con muchas variables a tener en cuenta, y que por tanto debe estudiarse detenidamente para conseguir un proceso lo más óptimo posible. De acuerdo con este propósito, en este proyecto se han empleado dos técnicas:

- Técnicas CAD (Computer Aided Design): Diseño gráfico asistido por ordenador: empleo de CATIA V5 R14.
- Técnicas CAM (Computer Aided Manufacturing): Empleo de máquina de control numérico de alta precisión: fresadora CNC (Control Numérico Computerizado).

Llegados a este punto, se van a analizar estas dos técnicas, viendo cómo se han implementado en este proyecto **para optimizar los procesos de fabricación**:

⁴ Este epígrafe está basado en

[4] <<http://www.ripmax.com>>

[12] Andrés Aylagas, et al. "Aeromodelismo y radiocontrol. Enciclopedia Práctica". Hobby Press, S.A. Madrid 1984

[15] <<http://www.fresadoras-cnc.com/index.html>>

[17] Javier García-Lomas Jung. "Apuntes de Fabricación Integrada", Sevilla, curso 2006/2007

[18] Unceta, Herramientas de calidad. Unceta, S.A. Guipúzcoa 2001/2002. Tomo 10

[19] Unceta, Herramientas de calidad. Unceta, S.A. Guipúzcoa 2008. Tomo 134

1. Técnicas CAD: Proceso de diseño que emplea técnicas gráficas de ordenador y que presenta entre otras ventajas:
 - a. Producción de dibujos más rápida, con mayor precisión y más limpios.
 - b. Análisis y cálculos de diseños más rápidos.
 - c. Diseños innovadores y optimizados.
 - d. Animación y simulación.
 - e. Integración del diseño con otras disciplinas.

2. Técnicas CAM: [Proceso de fabricación controlado por ordenador](#). En este caso se trata de técnicas de programación y fabricación CNC. Las ventajas que presenta:
 - a. Niveles de producción más altos con menor esfuerzo laboral.
 - b. Menor probabilidad de error humano, más fiabilidad.
 - c. Ahorro de costes por incremento de la eficiencia de la fabricación.
 - d. Repetitividad de los procesos de fabricación a través del almacenamiento de datos.
 - e. Productos de mayor calidad.

Lo que se ha hecho en este proyecto es aunar ambas técnicas, [integrándolas](#) en un proceso completo. Esto significa que todo componente se ha dibujado sobre una pantalla gráfica, y los gráficos se han transmitido a un sistema de fabricación en el cual se ha producido ese componente de forma automática sobre una máquina con CNC. En definitiva, se han ligado los procesos de diseño y fabricación como se muestra [en la imagen 6.1](#).

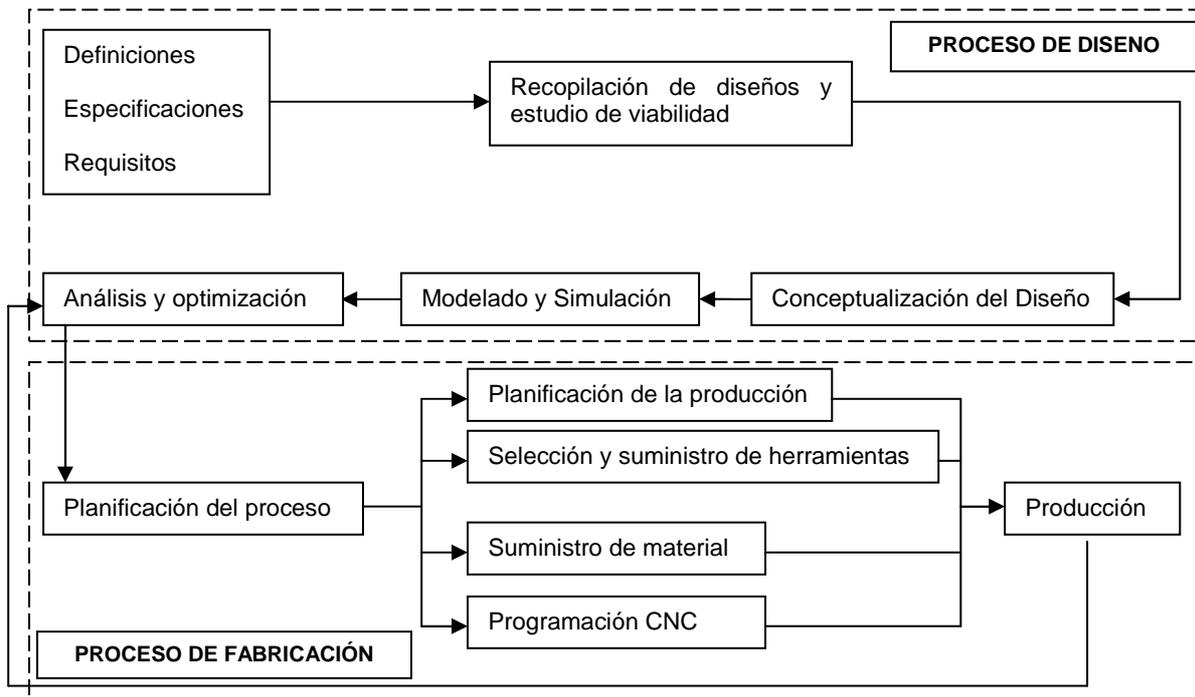


Imagen 6.1: Fases de Diseño y Fabricación. Fuente: Elaboración propia

De forma más concreta, la imagen 6.1 describe una serie de sub-actividades que consisten en:

- Sub-actividades asociadas al proceso de diseño (Septiembre de 2007 - Septiembre de 2008): Esta etapa comienza con la definición o propuesta de una serie de diseños, conocidos como “modelos de servilleta”, de entre los que se ha de seleccionar uno. Dicho modelo es entonces adaptado a unas especificaciones o requisitos de diseño (recogidos en el RFP) para luego ser sometido a un estudio de viabilidad (primera revisión de trabajo establecida en la asignatura de Cálculo de Aviones). A partir de aquí se debe conceptualizar el diseño, modelarlo y simularlo, es decir, se deben proporcionar una serie de requisitos entregables, por ejemplo: dibujos CAD enseñando dimensionados, identificación y definición de las cargas que afectan las diferentes partes estructurales, etc. Finalizadas estas acciones, que en el caso del Céfire comprenden el cuatrimestre correspondiente a la asignatura de Cálculo de Aviones, se inician las actividades de análisis y optimización, que permiten refinar el modelo propuesto, y que abarcan el período transcurrido entre Febrero y Septiembre de 2008.

- Sub-actividades asociadas al proceso de fabricación (Noviembre de 2008 – Mayo de 2009): Esta fase se emprende con la planificación del proceso de fabricación, lo cual supone realizar una serie de tareas encaminadas al desarrollo del proceso de producción: planificar el orden de ejecución de las actividades asociadas al proceso, selección de herramientas y maquinaria, así como también ubicación de las mismas en el entorno de trabajo, aprovisionamiento de materiales para afrontar la construcción y preparación de los programas de control numérico para realizar el corte de material (técnicas CAM). Cumplimentadas estas actividades, se inicia el proceso de producción, durante el cual, si se detectan necesidades de introducir mejoras en el diseño enfocadas a una construcción más eficiente, se genera una realimentación del modelo CAD, con objeto de optimizarlo lo máximo posible.

En los epígrafes *6.1 Requisitos de herramientas* y *6.2 Corte de piezas por control numérico computerizado* se detallan las sub-actividades del proceso de fabricación que se han mencionado anteriormente.

6.1 Requisitos de herramientas

En este apartado se describen todas las herramientas y máquinas-herramienta (equipos empleados para realizar operaciones de fabricación con mayor o menor grado de automatismo) que han sido empleadas en el proceso de fabricación en general, no sólo para los procesos CAM, sino también para la integración estructural y de sistemas en la aeronave. Las empleadas han sido:

1) Fresadora CNC.

Esta máquina realiza gran cantidad de operaciones distintas: taladrado, fresado, grabado, mecanizado de volúmenes 3D, etc. Para la fabricación de los componentes de este UAV se ha empleado principalmente lo que se llama control con 2 ½ Ejes, esto es, un contorneado en dos ejes (X e Y) y cambio de plano (Imagen 6.2)

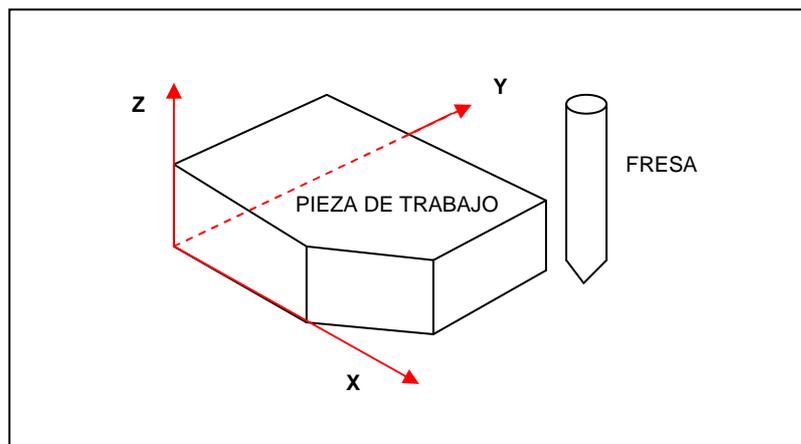


Imagen 6.2: Control con 2 ½ Ejes. Fuente: Elaboración propia

Algunas de las especificaciones técnicas más importantes de la estación de fresado son:

- Accionamiento: cuatro motores paso a paso, con 200 pasos por vuelta (control 1/8 de paso).
- 2 motores sobre el eje X para mantener fuerzas de tracción y presión constantes al fresar.
- Husillo roscado trapezoidal (3 mm de incremento) con doble rodamiento de apoyo.
- Avance en vacío máx. 1.000 mm/min.
- Resolución técnica 0,000187 mm (1/8 paso).
- Área para trabajo de la pieza 1.330 x 690 mm.
- Recorrido: X = 1.000 mm; Y = 600 mm; Z = 110 mm.
- Interruptores de referencia / fin de carrera en todos los ejes.
- Interruptor de emergencia con doble seguridad.
- Cadenas para protección de cables.
- Medidas exteriores con motores : largo x ancho x alto = 1.280x 850 x 550 mm.
- Peso aprox. 51 kg.

La fresadora adquirida, de fabricación alemana (marca comercial Heiz) es el modelo High Z S-1000/T, que puede se muestra en la imagen 6.3.

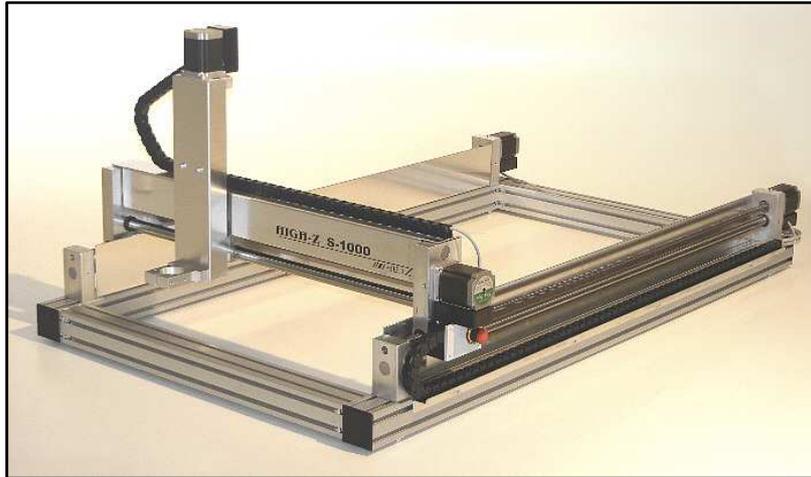


Imagen 6.3: Fresadora High Z S-1000/T.
Fuente: [15]

Con recorridos en longitud desde 400 mm hasta 1000 mm y en anchura desde 300 mm hasta 600 mm (siempre $z = 110$ mm), una repetitividad de 0,025 mm y avances máximos de 90 mm/segundo (versiones T), esta máquina es perfectamente válida para prácticamente todos los trabajos de fresado y grabado en plástico, madera y metales como Aluminio o Latón (metales blandos). Así mismo la máquina puede ser utilizada igualmente para el taladrado de pletinas o el corte de láminas (elementos de pequeño espesor delgado).

Otros accesorios que emplea la fresadora son:

- Motor de fresado de 1050 W (imagen 6.4) con juegos de pinzas para agarre de fresas (pinzas de amarre para 1/8", 3 mm y 6 mm) (imagen 6.5).



Imagen 6.4 (izquierda): Motor de fresado / Imagen 6.5 (derecha): Juego de pinzas de amarre de herramienta. Fuente: Elaboración propia

- Mesa de trabajo metálica, ranurada en T (imagen 6.6), sobre la que colocaremos un tablero de DM, madera similar al aglomerado, como "mártir" para no dañar la mesa ranurada durante las operaciones de fresado.

- Unidad de control de 3 Ejes ([imagen 6.7](#)): junto con los canales de gestión de los 3 ejes, cuenta además con entrada para los interruptores de referencia y fin de carrera, pulsador de emergencia, etc.

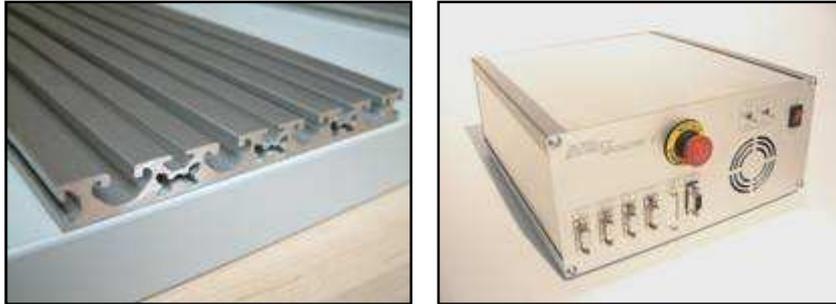


Imagen 6.6 (izquierda): Mesa de trabajo / Imagen 6.7 (derecha): Unidad de control.
Fuente: [15]

- Software de control WinPC-NC: Con este se pueden ajustar todos los parámetros que se precisen, como por ejemplo velocidad de avance, escalado, secuencias de fresado, profundidad de corte de las diferentes herramientas, etc. Gracias a este software “no es necesario” tener conocimientos de programación en CNC, pues éste programa lo genera automáticamente.

2) Máquina de cinta de sierra metálica.

Esta máquina-herramienta ha sido de las más empleadas en el proceso de fabricación dada su versatilidad para corte de materiales de distintas propiedades. Esta cualidad se basa en la facultad de poder emplear dos tipos de cinta de sierra: una para metal y otra para materiales blandos (madera o nylon). [Además, su uso se ha visto propiciado por la facilidad de cambio de las cintas y de manejo de la máquina propiamente dicha.](#)



Imagen 6.8: Máquina de cinta de sierra metálica.
Fuente: Elaboración propia

3) Taladro de banco / 4) Lijadora

En relación al taladro de banco (imagen 6.9), éste ha sido esencial para hacer perforaciones en hélices, largueros de Ala Central, tren principal, etc. Respecto a la lijadora (imagen 6.10), al disponer de dos "pistas" de lijado (una semicircular y otra plana) aumenta su rango de aplicabilidad, ya que no sólo se ha empleado para lijado de maderas, sino que además se ha utilizado para alisado de superficies metálicas de Aluminio y Acero.

El manejo de ambas es bastante sencillo, y la comodidad para cambiar las brocas o el papel de lija de las pistas, según el caso, hacen de estos equipos un imprescindible en el proceso de fabricación del Céfiro.



Imagen 6.9 (izquierda): Taladro de banco / Imagen 6.10 (derecha): Lijadora. Fuente: Elaboración propia

Otras herramientas secundarias, aunque no por ello menos usadas, son las siguientes (estos equipos están asociados a los procesos de integración y a la ejecución de las pruebas funcionales):

5) Calibre o Pie de Rey.

6) Juegos de Llaves Allen y Llaves Inglesas.

7) Martillos, destornilladores, alicates, limas, tijeras, pinzas, etc.

8) Herramientas de alineación y posicionamiento de agujeros.



La primera herramienta de este grupo, que se muestra en la imagen 6.11, se emplea para determinar la posición de los agujeros de montaje de motor. El manejo consiste en presionar el cono de auto alineación de centrado, de uno de sus extremos, dentro del agujero de montaje con el motor posicionado en su localización. Marcado este punto, girar la herramienta al tiempo que se presiona para que la punta deje una marca bien centrada.

Imagen 6.11: Herramienta de alineación y posicionamiento de agujeros. Fuente: [4]

También se encuadra en este grupo la herramienta de posicionamiento de bisagras, con la que se centra en el borde de salida la posición donde se ha de practicar la incisión oportuna para acoplar las bisagras que permiten la deflexión de las superficies de control.

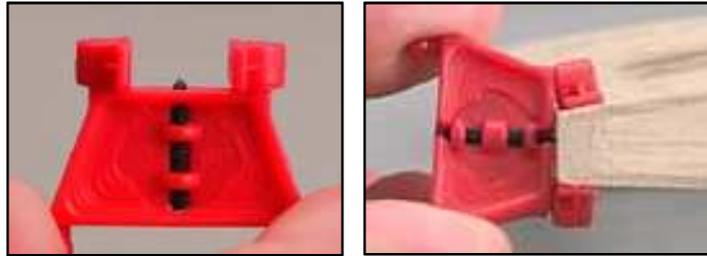


Imagen 6.12 (izquierda): Herramienta para posicionar bisagras
Imagen 6.13 (derecha): Posicionamiento sobre borde de salida de un ala.
Fuente: [4]

9) Doblador en Z

Herramienta para el doblado en "Z" de la varilla que conecta el servo de motor con la palometa de entrada de combustible al carburador (la forma de uso es la indicada en las imágenes 6.14 – 6.16).

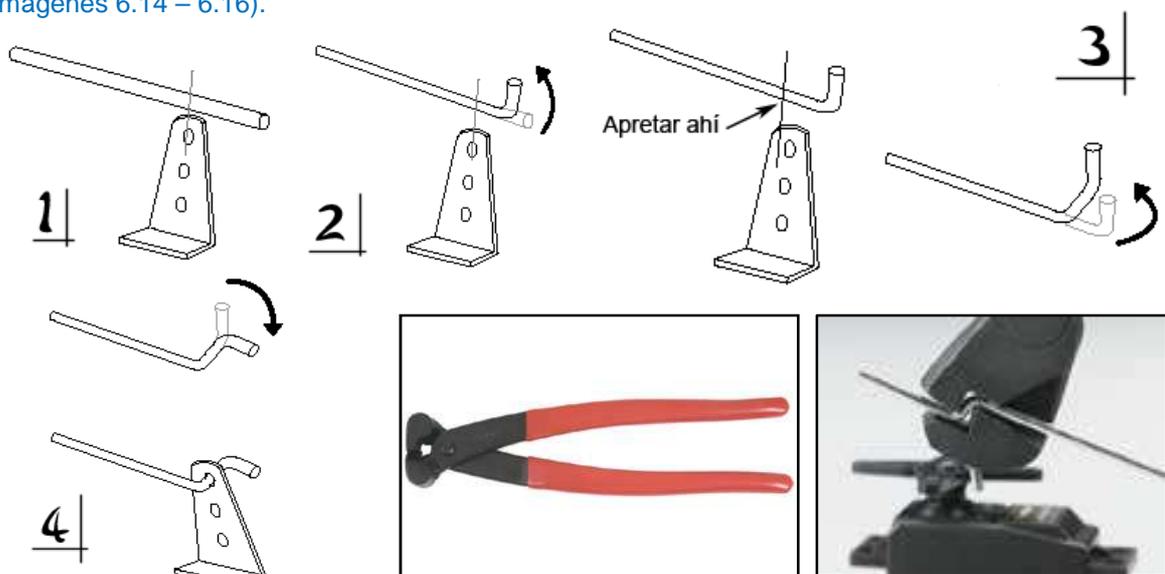


Imagen 6.14 (Imágenes numeradas de 1 a 4): Secuencia de doblado. Fuente: Elaboración propia a partir de [6]
Imagen 6.15 (inferior izquierda): Herramienta para doblado. Fuente: [4]
Imagen 6.16 (inferior derecha): Doblado de una varilla de mando. Fuente: [4]

10) Herramientas de corte.

Para el corte de materiales blandos, como la madera de balsa y recubrimientos plásticos se emplea un cutter convencional (imagen 6.17). Además de éste, también se emplean cutter de doble punta (imagen 6.18) para hacer los agujeros de borde de salida donde entran las bisagras que permiten deflectar las superficies de control.



Imagen 6.17 (izquierda): Cutter. Fuente: [4]

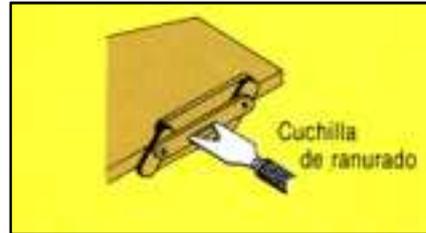


Imagen 6.18 (derecha): Cuchilla de ranurado para bisagras. Fuente: [12]

11) Herramientas para lijado.

Papel de lija con diferentes tamaños de grano para realizar operaciones de desbaste y acabado, y soportes para lijado manual de bordes de ataque. El lijado es una actividad necesaria en los procesos de integración a la hora de acoplar los largueros macho y hembra entre las secciones de Ala y Fuselaje, y de Fuselaje de Morro con Fuselaje Central.



Imagen 6.19: Soporte para lijado.
Fuente: [4]

12) Soldador.

El soldador se empleará para el empalme de conectores de los cables del sistema de comunicaciones. También hay trabajos de soldadura en las cogidas de acero de los tubos de cola, pero para estas zonas, el equipo y el proceso de ejecución son distintos y más complejos (para más información consultar epígrafe 13.7 ANEXO 7: Uniones).



Imagen 6.20: Soldador. Fuente: Elaboración propia

13) Metabo (perforador y atornilladora manual) / 14) Atornilladora manual Bosch.

Ambos elementos (imágenes 6.21 y 6.22) se emplean activamente en el proceso constructivo en general: en la instalación de las planchas de madera en la máquina de corte CNC, en la construcción de utillajes, integración estructural, procesos de (des)montaje, etc.



Imagen 6.21: Metabo / Imagen 6.22 (derecha): Atornilladora Bosch. Fuente: Elaboración propia

Para las diferentes operaciones realizadas con el Metabo y el taladro de banco, como por ejemplo: pre-taladrado de maderas, taladrado de chapas de metal y piezas de madera, ajuste de los diámetros de agujero de hélice a los tornillos de sujeción de motor, etc. se han empleado el juego de brocas presentado en la imagen 6.23. El rango de diámetro del que dispone este juego alcanza desde métrica 2 a métrica 13, sin embargo, las brocas más empleadas han sido las de métrica 4, 5, 6 y 8.



Imagen 6.23 (izquierda): Juego de broca. Fuente: Elaboración propia

Por último se han empleado también herramientas de corte o fresas para la máquina de corte CNC, en diferentes diámetros (para más detalle consultar el epígrafe 6.2 *Corte de piezas por control numérico*).

6.2 Corte de piezas por control numérico

En este apartado se recogen las técnicas, programas y problemas surgidos durante el proceso de corte asistido por ordenador.

6.2.1. Piezas para el montaje del UAV

Se ha hablado con anterioridad de las ventajas que supone el empleo de sistemas CAD/CAM, que recordemos, ayuda a generar con relativa facilidad el programa de control numérico que es lo único que entienden las máquinas-herramienta. No obstante en este proceso, ¿cuál es la misión del ordenador, y cuál la del programador? El programador debe definir la geometría de la pieza, y seguidamente, especificar la secuencia de operaciones y la trayectoria de la herramienta. Por su parte la computadora debe traducir los datos de entrada que le llegan, realizar cálculos aritméticos y de corrección para la trayectoria de herramienta de corte, y generar el postprocesado, es decir, crear el listado de código de control numérico que necesita la máquina para realizar el corte. Según lo anterior, lo que se presenta en este punto obedece a la acción del programador.

De forma general el proceso se realiza de la siguiente forma:

- Se generan los dibujos en CATIA V5 a partir de uno de sus módulos de trabajo (*Mechanical Design > Drafting*) y se guardan en formato .dxf (propio del programa Autocad) (pasos 1,2 y 3 de la imagen 6.24).
- Estos ficheros .dxf se abren con el programa de generación de trayectorias de corte, VCarve Pro. En este entorno se definen las operaciones de corte que se van a realizar para cada componente, y se guardan en un archivo .tap (propio de VCarve Pro) según un código designado como *WINCNC GCode (mm)*. Este último archivo contiene las órdenes de corte o postproceso, que finalmente son ejecutadas por el software de control de la máquina de fresado, WinPC-NC (paso 4 de la imagen 6.24).

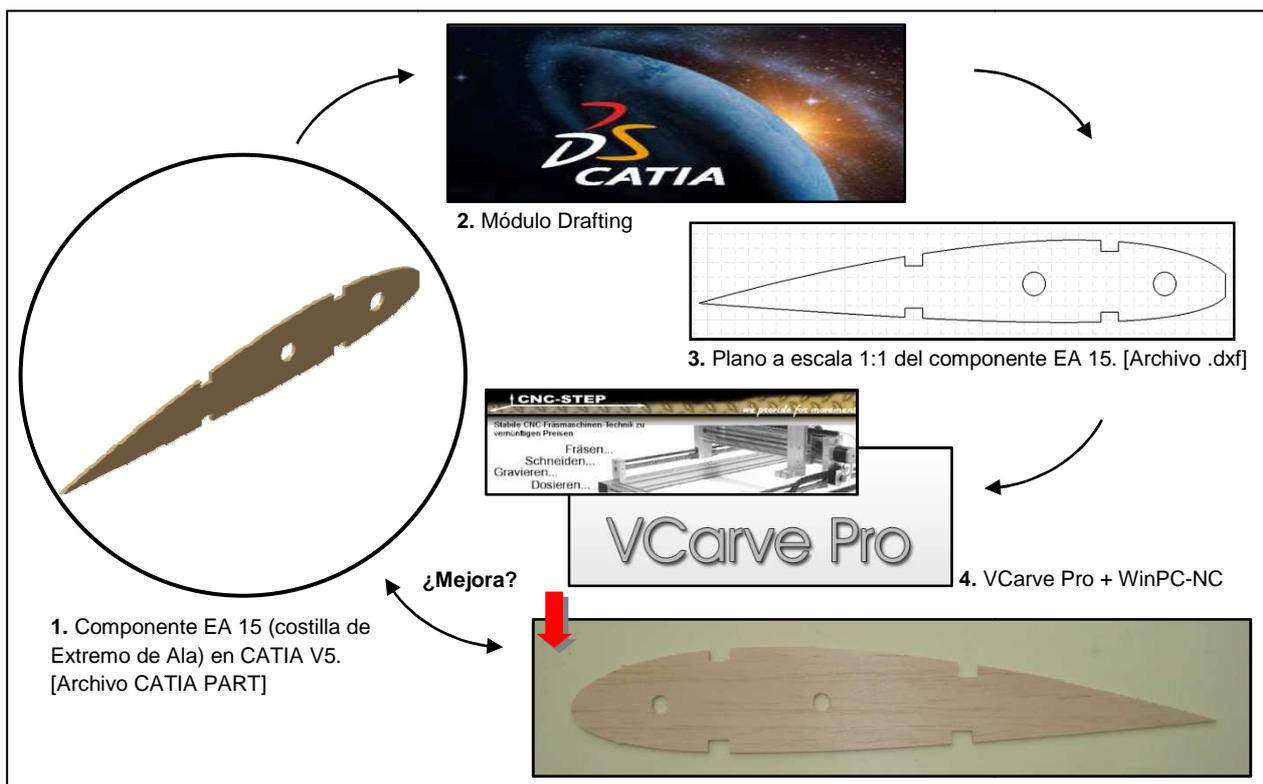


Imagen 6.24: Esquema del proceso de corte CNC. Fuente: Elaboración propia, CATIA V5

Puesto que el número de piezas a cortar es realmente alto se ha optado por generar unas listas en las que figuran todas ellas, con nomenclatura acorde a la estipulada en los planos de configuración (consultar epígrafe 5. *Planos de Configuración*). De esta forma las listas que se tienen constan de 6 columnas: la primera columna en la que figura el nombre del componente en los planos, la segunda donde se muestra si la pieza se corta con la máquina (La S indica SÍ y la N indica NO), la tercera, cuarta y quinta enseñan respectivamente el material de la pieza, su espesor y el nombre que se le ha asignado en CATIA V5. Finalmente la última columna está preparada para marcar con una X las piezas que van siendo cortadas, y así se evita cualquier confusión. Estas listas se encuentran en el epígrafe 13.2 ANEXO 2: *Lista de corte de componentes*.

Una vez hecho esto, y después de que todas las piezas que van a ser cortadas se han guardado en formato *.dxf*, se procede a generar los programas de corte. Llegados a este punto, lo primero que se debe hacer, es conocer las dimensiones de las maderas de distinto material de las que se dispone. Éstas son:

- Madera de balsa (dimensiones aproximadas)
 - Chapas de espesor 1/8": 914.4 mm x 101 mm
 - Chapas de espesor 1/4": 914.4 mm x 101mm
 - Chapas de espesor 3/8": 914.4 mm x 76 mm
- Contrachapado (dimensiones aproximadas)
 - Contrachapado de espesor 1/8": 609.6 mm x 304.8 mm
 - Contrachapado de espesor 1/8": 914.4 mm x 304.8 mm
 - Contrachapado de espesor 1/8": 1219.2 mm x 609.6 mm
- Pino: espesor 19 mm

Puesto que el proceso de corte es algo repetitivo, y son muchos los componentes que se han de cortar, se va a realizar un ejemplo ilustrado con el suficiente grado de detalle para una correcta comprensión. Por tanto, sólo se mostrará el proceso completo para la pieza EA2, mientras que para el resto de elementos a cortar sólo se expondrán los resultados.

Ejemplo de corte de una sección de costilla del ala. Pieza EA2

Paso 1: Abrir el programa VCarve Pro

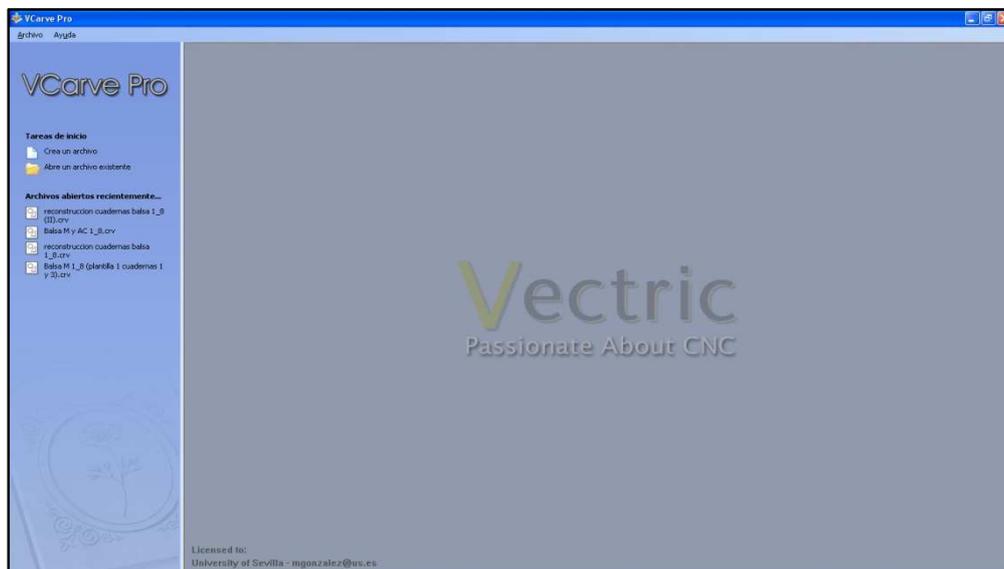


Imagen 6.25: Pantalla de inicio de VCarve Pro. Fuente: VCarve Pro

Paso 2: Abrir el archivo en formato *.dxf*, en este caso llamado EA2.dxf

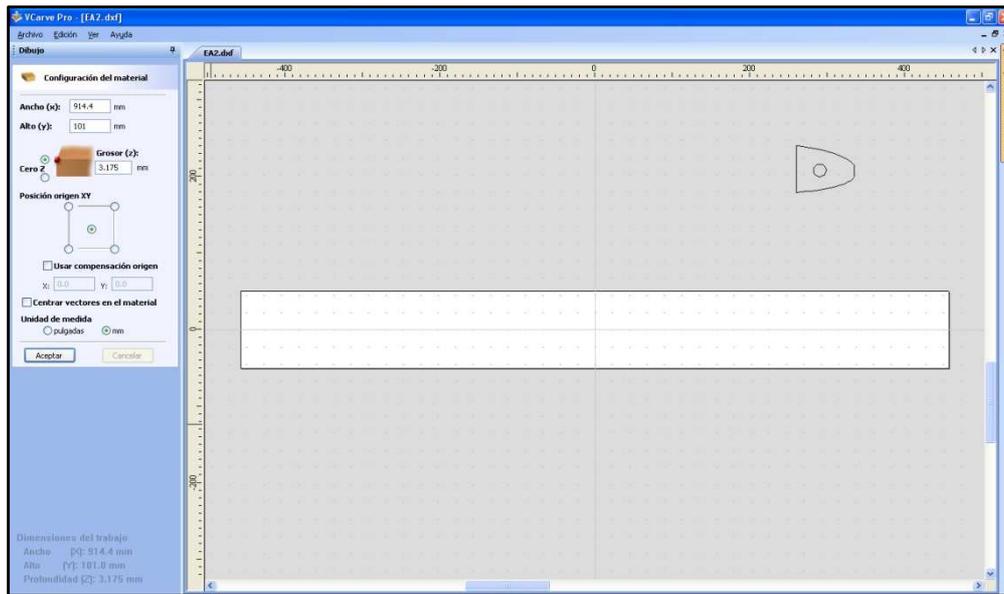


Imagen 6.26: Dimensiones de la tabla de trabajo. Fuente: VCarve Pro

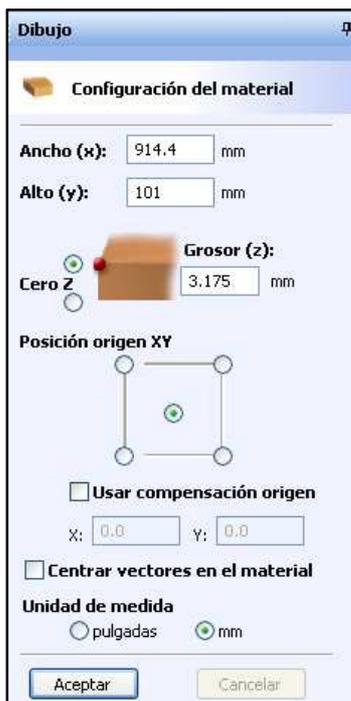


Imagen 6.27: Configuración del material. Fuente: VCarve Pro

En la imagen 6.26 puede observarse que a la izquierda aparece una solapa. Ahí se configura el espesor del material, las dimensiones del bloque o la tabla de partida que se va a mecanizar, las unidades de medida con las que desea trabajar (pulgadas o milímetros) y la posición de origen de la tabla. Una vista detallada de lo anterior se presenta en la imagen 6.27.

Como se muestra en la imagen 6.26, aparece el dibujo de la pieza en cuestión. Antes de moverlo del sitio en el que aparece, para evitar modificar de forma involuntaria sus dimensiones, seleccionar el elemento haciendo click en una zona adyacente y arrastrando el marco para englobarlo dentro. Acto seguido en la solapa izquierda, hacer click en el icono *unir vectores*. Entonces aparecerá en la solapa de la izquierda un nuevo cuadro de diálogo, donde se debe asignar la tolerancia en mm para unir o juntar los vectores que conforman el dibujo. Debe elegirse la tolerancia más baja que se permita para desvirtuar lo menos posible la geometría de la pieza. Todo lo anterior se muestra en la imagen 6.28 (donde se ha asignado una tolerancia de 0.01 mm).

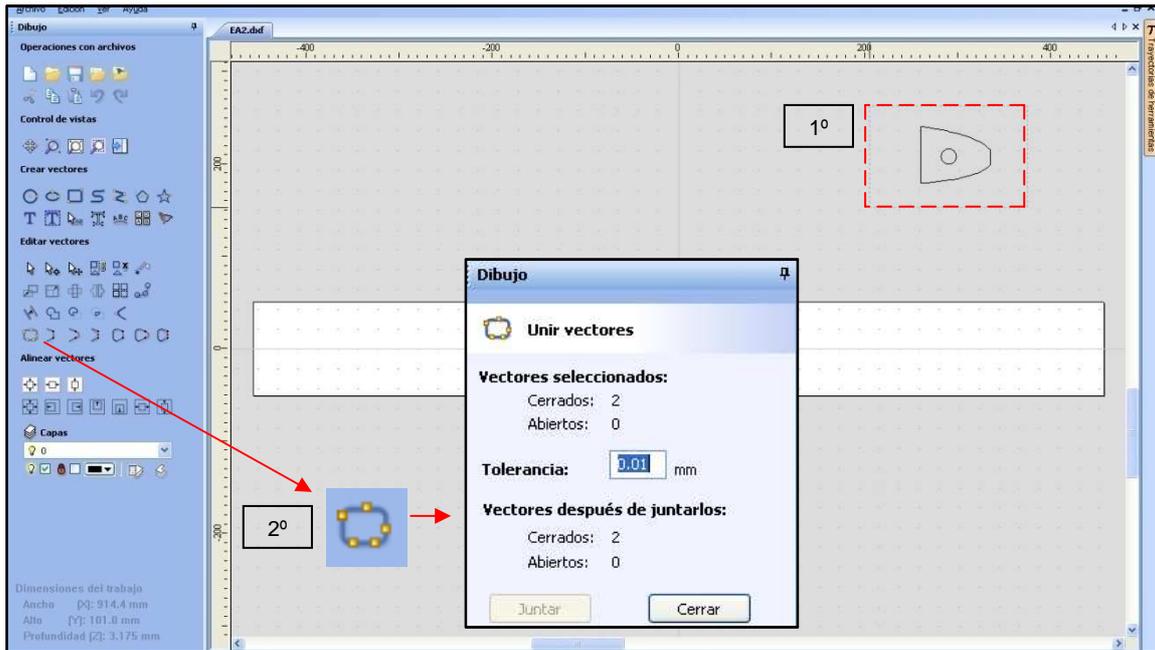


Imagen 6.28: Editar vectores, unir. Fuente: VCarve Pro

Es importante observar cómo tras juntar los vectores, el programa establece el número de vectores cerrados que existen en el dibujo. En este caso son dos: uno correspondiente al contorno exterior y otro al agujero interior que tiene la pieza. Es fundamental que no haya vectores abiertos en el programa, pues si los hubiere, al generar las trayectorias de corte aparecerán problemas. De esta forma se recomienda jugar con las tolerancias (siempre buscando que sean lo más pequeñas posibles) hasta ver que todos los vectores del dibujo quedan cerrados.

Paso 3: Generar las trayectorias de corte

Mover el dibujo y colocarlo sobre la tabla de trabajo (fondo blanco). Para ello puede usarse el botón *Mover, escalar, rotar selección*. Tras esto, hacer click en la pestaña que aparece a la derecha en la pantalla, denominada como *Trayectorias de herramientas*. Aparecerá una nueva solapa a la derecha, tal como se muestra en la [imagen 6.29](#).

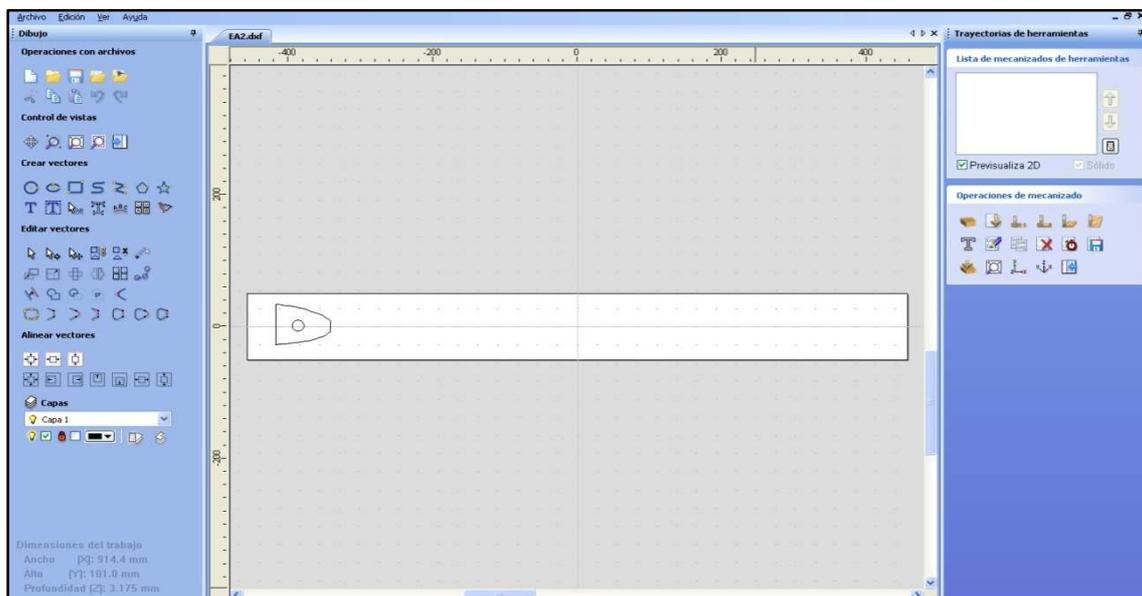


Imagen 6.29: Trayectorias de corte. Fuente: VCarve Pro

Puede comprobarse que aparecen en la solapa a la derecha de la imagen 6.29 una serie de iconos con un rótulo sobre los mismos que *reza: operaciones de mecanizado*. En esta solapa hay que seleccionar el icono de la esquina superior izquierda, *configurar material*. Entonces aparecerá el cuadro de diálogo que se muestra en la imagen 6.30

En esta opción se cambia el espesor del material y el punto cero asociado al Eje Z, que se coloca en la superficie del material (punto rojo de la imagen 6.30). La distancia superficial de desplazamiento es la separación que guarda la punta de la herramienta respecto a la superficie de la pieza en los desplazamientos previos al inicio del mecanizado. Por último, es de vital importancia fijar la posición inicial de partida de la herramienta. Si se olvida modificar esta posición, lo más probable es que la máquina-herramienta exceda de sus límites de desplazamiento, y consecuentemente se dañe. Por lo tanto, lo que se debe hacer es colocar este punto en el interior de la tabla de trabajo, por ejemplo en el centro (la coordenada Z se deja en 20 mm que es un valor seguro para preservar la punta de la herramienta de corte).

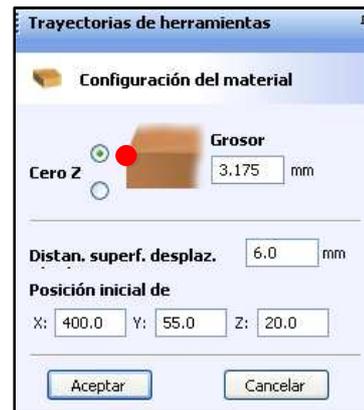


Imagen 6.30: Configuración del material. Fuente: VCarve Pro

La mayoría de las operaciones que se van a hacer son fresados frontales o combinados preferentemente frontales, por ello hay que seleccionar el tercer icono de la primera fila, *crear una trayectoria de la herramienta perfil*. Al pinchar se abrirá un cuadro como el de la imagen 6.31. Lo primero que aparece es la profundidad de corte, que como se mencionó anteriormente estaba referida a la superficie del material pues así fue seleccionado. En esta primera parte se modifica la segunda casilla que pone *Prof. Corte (C)*, y puesto que en este ejemplo se trabaja con balsa de espesor 1/8", hay que escribir como profundidad el espesor: 3.2 mm aprox.

Lo siguiente es seleccionar la fresa; en este punto el programa no ofrece demasiada variedad de herramientas, de cualquier forma para las operaciones que se realizan en este proyecto es suficiente. Al hacer click sobre la pestaña de selección de herramienta se abrirá un cuadro como el de la imagen 6.32.



Imagen 6.31 (izquierda): Trayectorias de herramientas / Imagen 6.32 (derecha): Base de datos de herramientas. Fuente: VCarve Pro

En este cuadro aparecen una serie de opciones: geometría, parámetros de corte, avances y velocidades. Sólo hay que modificar la profundidad de pasada, y si fuera necesario, el diámetro de la herramienta. **Los demás parámetros se ajustan en WinPC-NC, por lo que no es preciso variar nada (esto se aclarará al final de este ejemplo).**

La selección de la herramienta dependerá fundamentalmente del material que se va a cortar. Así, según se ha comprobado durante los procesos de corte lo adecuado es:

- Balsa (cualquier espesor): Una fresa de $\Phi 2$ mm o $\Phi 3$ mm. Preferiblemente la primera para dejar mejor acabado en el corte.
- Contrachapado (espesor de 3.175 mm): Una fresa de $\Phi 4$ mm y si la geometría de la pieza lo permite, un diámetro superior también es admisible.
- Contrachapado (espesor superior a 3.175 mm): En un caso como este lo adecuado es generar varias pasadas eliminando en cada una de ellas no más de 4 mm de espesor. Lo más adecuado en estos casos es emplear una fresa de $\Phi 4$ mm o superior.
- Pino (espesor 19 mm): Se empleará una fresa de $\Phi 6$ mm realizando varias pasadas, eliminando nunca más de 4 o 5 mm por pasada.

En las páginas 34-37 se hablará con más profundidad de estos aspectos. Tras la selección de herramienta, se elige el modo de compensación, esto es, por dónde se desplaza la herramienta durante el corte: sobre la línea del dibujo, por fuera de ella o por dentro. Para cortar un contorno exterior de pieza se selecciona *compensación de fuera*, y para cortar agujeros interiores del perfil, se elige *compensación de dentro*. Junto con estas opciones hay que escoger la dirección de avance del movimiento: *subir* o *convencional*. Cuando elijamos la compensación de fuera tomamos dirección convencional y si la compensación es por dentro la dirección será subir. Esto es así para que la dirección de avance y el sentido de giro de la herramienta coincidan, lo cual deja mejor acabado en el componente cortado, quedando la mayor parte de la “rebaba” o “pelo” en la tabla que se va a desechar.

A continuación hay que *agregar lengüetas a la trayectoria*. Con esto lo que se hace es dejar pestañas de sujeción en distintos puntos del contorno de tal forma que la pieza no vibre en demasía conforme avanza la herramienta. Se escogerán lengüetas de longitud 3 mm y espesor 2 mm, seleccionando a continuación el perfil, y se colocan en los puntos deseados pulsando *editar secciones* (imagen 6.33). Después se cortan fácilmente con un cúter.

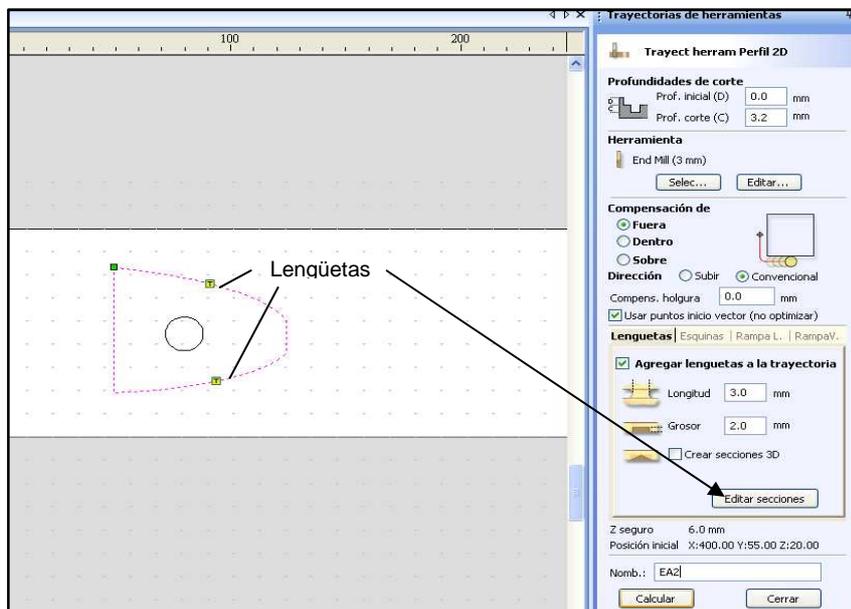


Imagen 6.33: Generando trayectoria de corte. Fuente: VCarve Pro

Tras esto, se da un nombre adecuado a la trayectoria de corte que se va a generar, por ejemplo: EA2. Antes de hacer click en la pestaña *calcular*, hay que asegurarse de que el perfil del dibujo está activado (pinchar sobre él y verificar que se resalta en color rosa) (figura izquierda de la imagen 6.35).

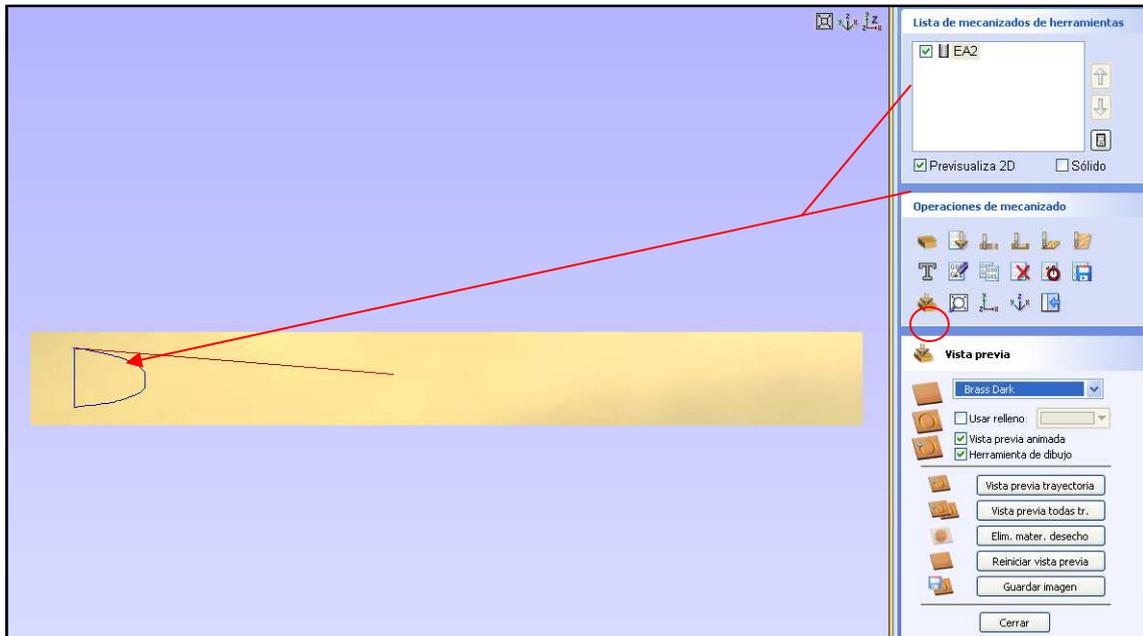


Imagen 6.34: Vista previa de trayectoria de herramientas. Fuente: VCarve Pro

Ahora se ejecuta el comando *vista previa de trayectoria de herramientas* (marcado con un círculo rojo en la imagen 6.34) y se ve la simulación del proceso de corte. Se observa entonces en la tabla de balsa, una línea azul que marca la trayectoria de corte creada y una línea roja que marca el punto de partida de la herramienta (ver imagen 6.34) (hay que recordar que en la opción *configurar material* se eligió este punto aproximadamente en el centro de la tabla). Si ahora se pincha sobre *vista previa trayectoria*, se verá el resultado final (figuras a la derecha en las imágenes 6.35 y 6.36).

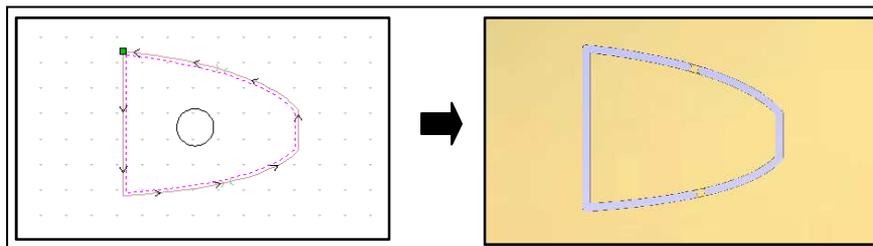


Imagen 6.35: Pieza EA2. Fuente: VCarve Pro

Para finalizar el ejemplo se ha de repetir el proceso de generación de trayectoria de corte para el agujero interior de la pieza, resultando lo siguiente:

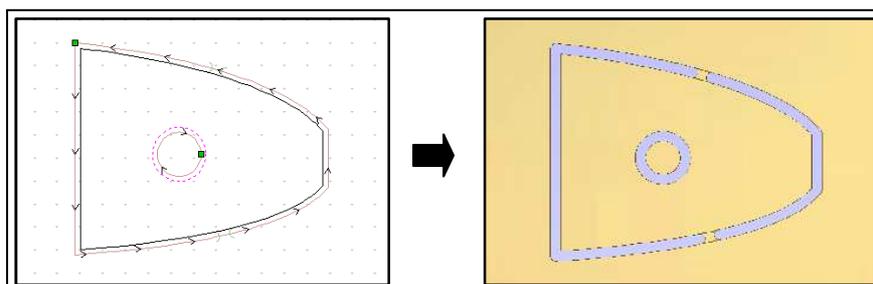


Imagen 6.36: Agujero pieza EA2. Fuente: VCarve Pro

Antes de terminar es importante señalar que siempre se deben cortar en primer lugar los agujeros o taladros interiores de las piezas, pues si se hiciera al revés, el componente puede vibrar en exceso en su posición y el corte de ese agujero sería defectuoso e incluso podría no producirse al ser la pieza arrancada debido a la falta de sujeción o por la fuerte fricción de la fresa con el contorno de corte.

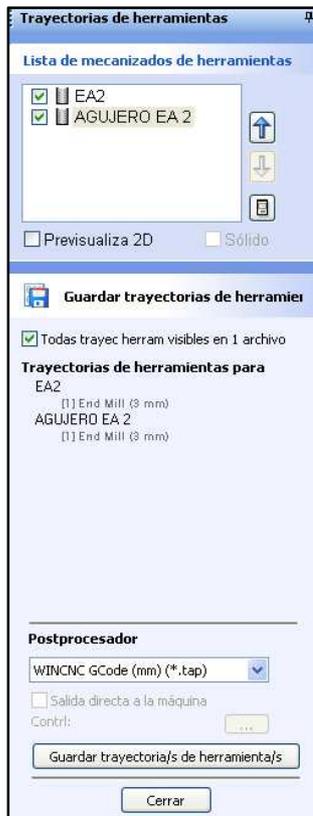


Imagen 6.37: Guardar trayectorias de herramientas.
Fuente: VCarve Pro

Con todo esto, ya se está listo para enviar la información al postprocesador, WinPC-NC Professional. En primer lugar hay que pinchar *guardar trayectorias de herramientas* (una limitación importante que tiene este software de corte es que no es capaz de guardar de forma simultánea trayectorias de corte realizadas con distintas herramientas) y se abre un cuadro como el que se muestra en la imagen 6.37. Guardar en el formato especificado en el manual del programa VCarve Pro, *WINCNC GCode (mm)*, y ya se genera automáticamente el archivo EA2.tap.

Paso 4: Postproceso

Se abre ahora el postprocesador, y en primer lugar aparece una pequeña ventana donde reconoce el modelo de máquina-herramienta que se va a emplear, en este caso, High Z S-1000/T (imagen 6.38). Acto seguido hacer click en *Abrir sin parámetros* (para evitar que se carguen parámetros de corte de proyectos anteriores), pudiendo verse ya el componente que se va a mecanizar. Como se ilustra en la imagen 6.39, el perfil aparece en rojo, color que se asigna a la herramienta que se va a usar. Si se emplearan varias herramientas, aparecerían diferentes colores para cada una de ellas.

Otra dato importante que se puede ver son las dimensiones del área de trabajo de la máquina (marco en línea discontinua de la imagen 6.39).

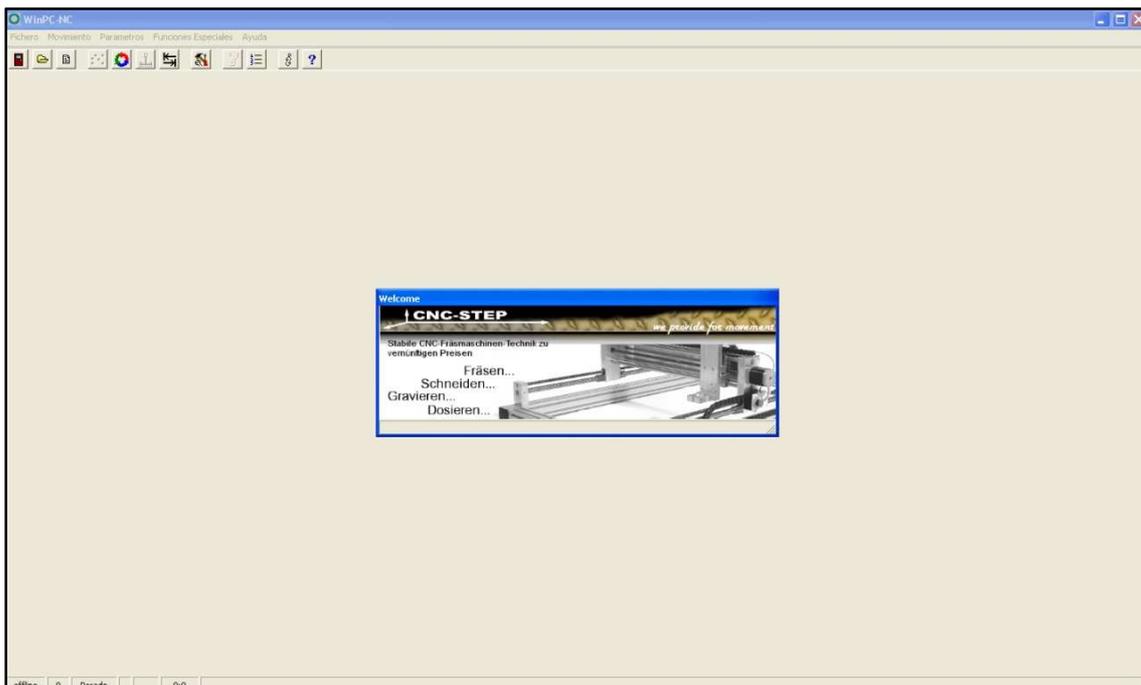


Imagen 6.38: Ventana de entrada a WinPC-NC. Fuente: WinPC-NC Professional

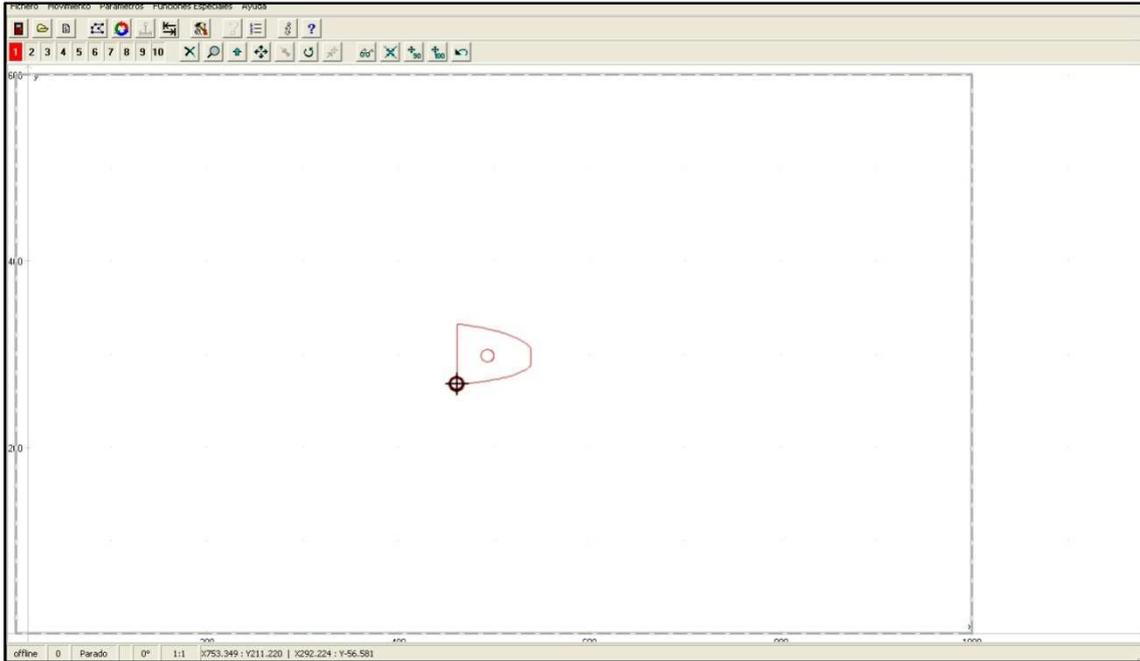


Imagen 6.39: Pieza EA2 en WinPC-NC. Fuente: WinPC-NC Professional

También se deben ajustar los parámetros de corte que fueron obviados en VCarve. Esto lo hacemos con *Parámetros > Máquina > Herramientas > Velocidad* (imagen 6.40). Se tienen 10 líneas diferentes que corresponden al número máximo de herramientas que admite el postprocesador, no obstante [aquí](#) sólo nos interesa la primera donde se modifican las dos primeras casillas:

- Velocidad de bajada, en eje Z: un valor adecuado es 5 mm/s.
- Velocidad de avance: para la madera de balsa es adecuado un valor de entre 10 mm/s y 20 mm/s (para otras maderas y materiales se definen al final del epígrafe).



Imagen 6.40: Parámetros de corte. Fuente: WinPC-NC Professional

En último lugar lo que hace es asignar a la máquina el Punto Cero: En el plano XY este punto marca la cota más baja donde se va a cortar, mientras que en Z, indica dónde está la superficie de la pieza. Para ilustrar esta idea [ver el esquema mostrado en la imagen 6.41](#):

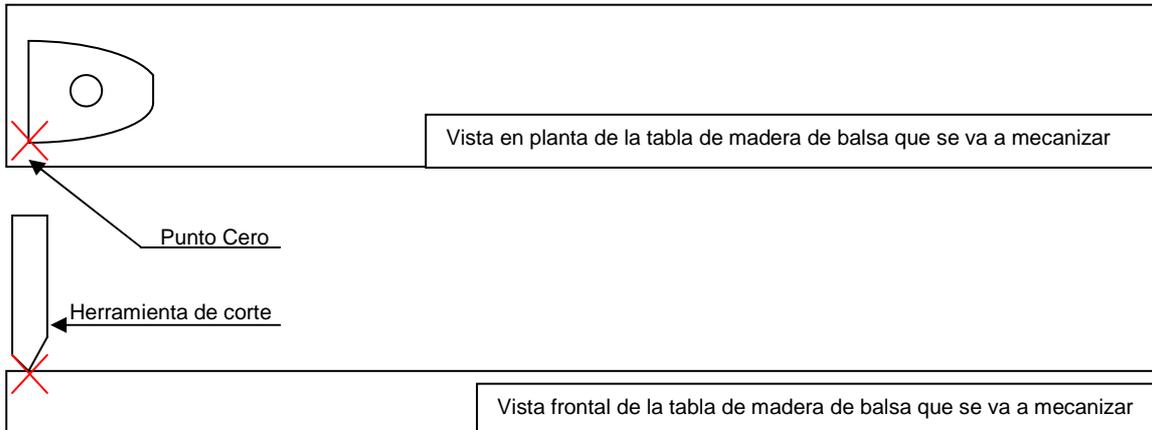


Imagen 6.41: Punto cero. Fuente: Elaboración propia

Para fijar este punto se ejecuta *Movimiento > Movimiento manual* y se coloca donde se desee. Seguidamente haciendo click en *Movimiento > Inicio* comienza el proceso de corte: primeramente la herramienta irá a la posición inicial que fue asignada con anterioridad en VCarve y después comenzará a cortar. En esta situación aparece un cuadro de diálogo en la ventana de comandos de WinPC-NC que indica el progreso de programa en tanto por ciento, y una opción que permite incrementar la velocidad de avance como porcentaje de la asignada inicialmente. Todo esto [se presenta en la imagen 6.42](#).

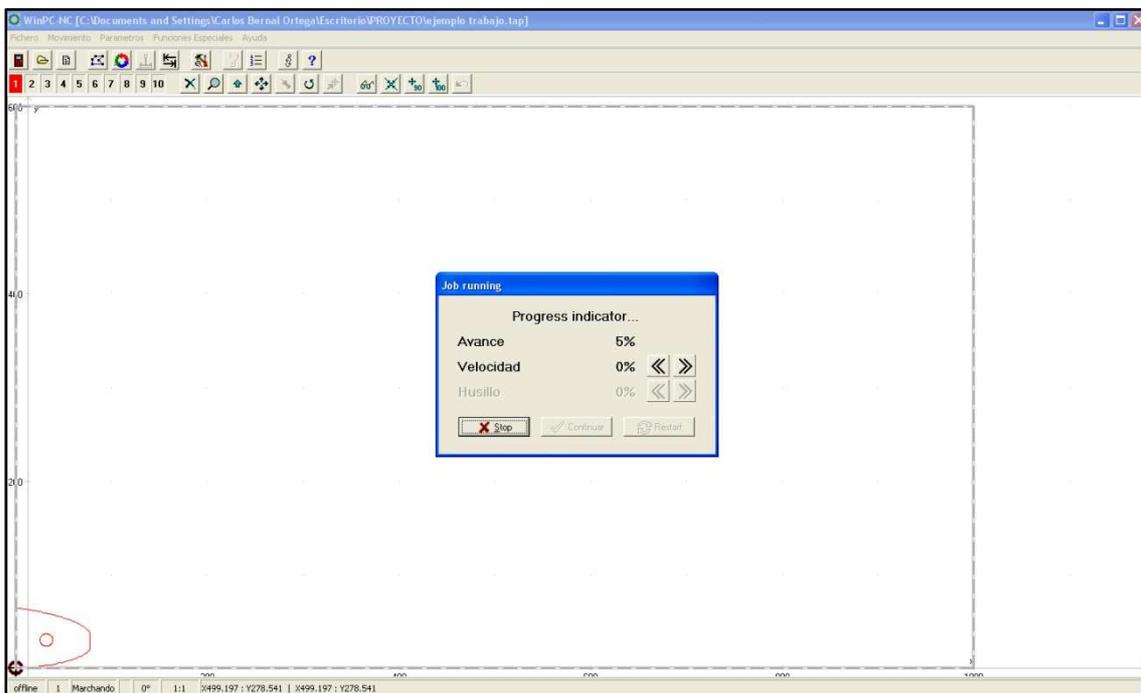


Imagen 6.42: Inicio del programa de corte. Fuente: WinPC-NC Professional

Concluido el ejemplo, es adecuado hacer una reflexión acerca de las velocidades de avance, las revoluciones del motor de fresado que se deben emplear, y qué herramientas se deben utilizar. Lo primero que ha de quedar claro es que estas decisiones dependen principalmente del material que se va a mecanizar, que serán tres: madera, nylon y Aluminio (más información sobre estos materiales en epígrafe 13.3 ANEXO 3: *Materiales empleados*). Analizando cada uno separadamente:

- Aluminio 7075:

Las expresiones que se utilizan han sido extraídas de la teoría de procesos de conformado por eliminación de material [recogidas en \[17\]](#). En base a esa teoría, las operaciones que se van a realizar serán fresados frontales y combinados (preferentemente frontales), y por ello la formulación que se utiliza es la siguiente:

$f_z \equiv$ Avance por diente \rightarrow Avance $f = f_z \cdot z$

$z \equiv$ Número de dientes o labios que tiene la fresa

$N \equiv$ Número de revoluciones por minuto

$V_f \equiv$ Velocidad de avance de la herramienta (dada en mm/min en el catálogo Unceta – referencias [18] y [19] de la bibliografía –)

$K_s \equiv$ Energía específica de corte

$$K_s = \frac{m}{h_1^{0.463}} \text{ (J/mm}^3\text{)}$$

donde el parámetro h_1 es el espesor de viruta indeformada. El espesor representativo de viruta es el medio, que en el fresado frontal se puede aproximar al máximo, coincidiendo este último con el avance por diente $\rightarrow h_1)_{\text{medio}} \equiv h_1)_{\text{máximo}} \equiv f_z$.

El factor m lo obtenemos de la gráfica de la imagen 6.43; Nótese que las aleaciones de Aluminio, se encuentran en la banda 5, que está acotada entre un valor máximo de 0.475 y un mínimo de 0.386. Tomaremos el mayor de ellos de manera que tengamos un K_s superior, lo cual implica que la potencia de corte sea mayor, llevándonos a una situación que guarda un cierto margen de seguridad.

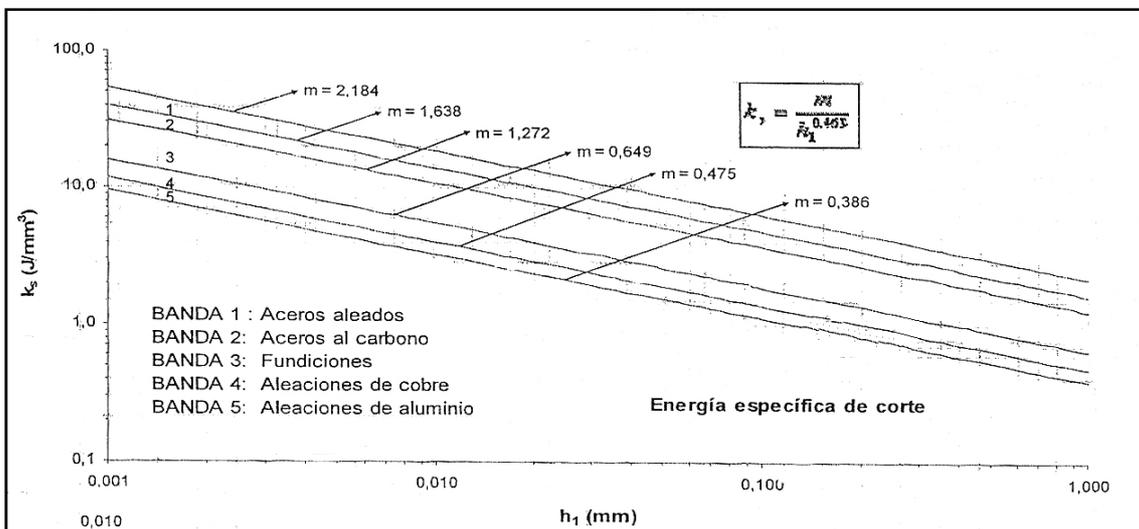


Imagen 6.43: Energía específica de corte VS Espesor de viruta indeformada. Fuente: [17]

Con los parámetros anteriores lo habitual es calcular:

$\dot{z} \equiv$ Material eliminado en la unidad de tiempo $= V_f \cdot A = V_f \cdot (\text{Diámetro herramienta}) \cdot (\text{espesor eliminado})$ [mm^3/min]

$P_c \equiv$ potencia de corte $= K_s \cdot \dot{z}$ [W]

$V_c \equiv$ velocidad de corte $= \pi \cdot D \cdot N$ [m/min]

Sin embargo sólo resulta imprescindible la velocidad de avance, el cálculo de la potencia no lo haremos en general, pero es importante tener en cuenta que su medida permite averiguar en primera aproximación si la estación de fresado que se emplea tiene la potencia adecuada para efectuar el mecanizado. Recordemos que el motor de fresado entrega una potencia máxima de 1050 W y en el mecanizado del aluminio que se va a realizar se requiere aproximadamente:

$$f_z = 0.015 \text{ mm/rev}$$

$$N = 5000 \text{ rpm}$$

$$V_f = 150 \text{ mm/min} = 2.5 \text{ mm/s}$$

$$K_s = \frac{0.475}{0.015^{0.463}} = 3.32 \text{ J/mm}^3$$

$$\dot{z} = V_f \cdot A = V_f \cdot D \cdot (\text{espesor eliminado}) = 150 \cdot 6 \cdot 4 = 3600 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$P_c = K_s \cdot \dot{z} = 3.32 \cdot 3600 = 200 \text{ W}$$

Los tres primeros valores se han obtenido de las tablas del catálogo Unceta y evidentemente son indicativos. La parte de las tablas que se ha empleado se muestra en la siguiente figura.

		Fresas de chaveteros									Fresas para canteados										
		 Tipo LL									 Tipo N										
N.º de dientes		2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	6	6		
		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
Fund. Al, Si ≤ 6%, Al duro. Por Ej. AISi 5 Mg																					
		fresa-Ø																			
IX	HSS/Co	V_c	.004	.008	.015	.025	.040	.050	.080	.110	.170	.007	.008	.014	.021	.029	.037	.050	.060	.075	
		f_z	15.0	7.6	5.0	3.8	3.0	2.5	1.9	1.5	1.0	7.6	5.0	3.8	3.0	2.5	1.9	1.5	1.2	1.0	
		n^*	120	120	150	190	240	250	300	330	340	160	120	160	190	220	210	225	220	225	
		200	180	225	285	360	375	450	500	510											
		v_i	180	180	230	290	370	380	460	500	510	320	250	320	390	440	430	460	650	670	
			280	280	350	435	550	570	690	750	760										
	Recubierto de TiAlN	V_c	.004	.008	.015	.025	.040	.050	.080	.110	.170	.007	.008	.014	.021	.029	.037	.050	.060	.075	
		f_z	23.0	11.5	7.7	5.8	4.8	3.8	2.9	2.3	1.5	11.5	7.7	5.8	4.5	3.8	2.9	2.3	1.8	1.5	
		n^*	180	180	230	290	370	380	460	500	510	320	250	320	390	440	430	460	650	670	
		v_i	280	280	350	435	550	570	690	750	760										

Imagen 6.44: Valores indicativos para la utilización de fresas. Fuente: Catálogo de herramientas Unceta. Pág. 1016

Finalmente, antes de dar paso al estudio de todas las piezas que se han cortado, se ven las herramientas (fresas) empleadas en sus procesos de corte:

A) Corte de Aluminio

- Herramienta Garant (Hoffman Group) de $z = 2$ labios:

Se empleará para corte de maderas duras (pino) y Aluminio (en seco, sin aplicar lubricante).



Imagen 6.45: Fresa Garant de $\Phi 6$ mm. Fuente: Elaboración propia

- Herramienta STD (Unceta) de 1 labio:

Es una fresa de acero rápido especialmente propuesta para corte de Aluminio. Pese a que las fresas de esta tipología, en sus diferentes diámetros, no están indicadas expresamente para corte de madera (ver en la imagen 6.48 los problemas que se derivan de la aplicación para mecanizado de madera), se van a emplear para ello, dado que su precio unitario es relativamente bajo, y no se han encontrado otras herramientas mejores o adecuadas para madera.



FRESAS

HERRAMIENTA DE CORTE DE ALTO RENDIMIENTO



Fresa de un labio para máquinas ELU para aluminio y metales no férricos

HSS
CO

Z
1



A9 9000



A9 9010

MATERIAL	Alum	>500 N	<1400 N	>45 HRC	<60 HRC	INOX	Ti	GG(G)	CuZn	Grafito F. Carb., F. Vidro, Duro Pl.	Uni			
A9 9000	✓	✓					>850 N						max.	✓
A9 9010	✓	✓												✓

Ø x Long. D _c	A9 9000			A9 9010			Agujero de corte L _s	Medida Ømango h8		Ø x Long. D _c	A9 9000		A9 9010		Agujero de corte L _s	Medida Ømango h8	
	TiAN			TiAN				L ₁	D _s		TiAN		TiAN			L ₁	D _s
3x 60	9,04						12		8	6x 60	9,72			16		8	
4x 60	9,04						12		8	8x 80	9,72			14	54	8	
5x 60	9,04						14		8	8x120		20,6		14		8	
5x 80			12,32				18	35	8	10x 80	13,16			14		8	
5x100			17,76				40	54	8								

Imagen 6.46: Fresas A9 9000 / A9 9010 empleadas. Fuente: Catálogo de herramientas Unceta, Pág. 125

De la [imagen 6.46](#), hay que resaltar los siguientes datos:

- Material de la herramienta: Acero rápido de alto rendimiento con aleación de Cobalto.
- Número de labios o dientes de la herramienta: $Z \equiv 1$
- Longitud de corte:
 - Fresa de $\Phi 3$ mm, $\Phi 4$ mm: 12 mm
 - Fresa de $\Phi 6$ mm: 16 mm
- Muy adecuada para mecanizado de Aluminio
- Muy adecuado para mecanizado en seco

Para encontrar una información detallada sobre los iconos empleados en la [imagen 6.46](#), acudir al epígrafe 13.4 ANEXO 4: *Guía de información de los iconos empleados en el Catálogo Unceta* (Más imágenes sobre estas herramientas se muestran en las páginas sucesivas).

B) Maderas y Nylon

Para madera y nylon la información sobre qué herramientas emplear o qué rango de velocidades es adecuado, es más escasa. En este sentido, no [teniendo](#) datos de partida, a diferencia de como ocurría con el Aluminio, la forma de proceder ha sido experimental, es decir, se ha dedicado un período de dos semanas para realizar pruebas de corte con diferentes velocidades y herramientas.

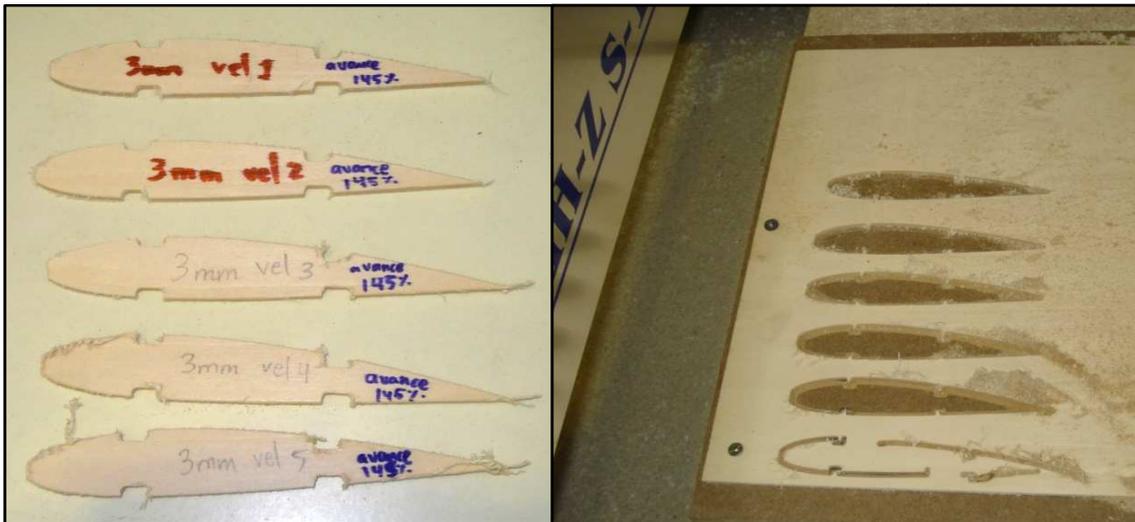


Imagen 6.47: Pruebas de corte. Fuente: Elaboración propia

En la [imagen 6.47](#) se observa un ejemplo de estas pruebas de corte, que se realizó tomando como pieza de prueba una costilla de ala. En la [imagen 6.47](#), sobre cada costilla, puede comprobarse que se ha escrito, de izquierda a derecha: Diámetro de la fresa, velocidades de giro y velocidades de avance.

Como puede [apreciarse](#), las velocidades de giro van desde 1 hasta 5. La equivalencia es aproximadamente lineal, de forma que [sabiendo los límites](#) inferior y superior de revoluciones, se tiene lo siguiente:

- 1.- 10000 rpm
- 2.- 15500 rpm
- 3.- 21000 rpm
- 4.- 26500 rpm

5.- 32000 rpm

Se ha jugado además con la velocidad de avance; partiendo de un valor inicial de 5 mm/s, se ha incrementado un 45% (observar que se ha escrito sobre la costilla un valor de avance de 145%) es decir se ha cortado a 7.25 mm/s. Habiendo hecho diversas pruebas, en las diferentes maderas (balsa, contrachapado y pino) se ha llegado a que los resultados óptimos en el corte se obtienen aplicando:

- Madera de balsa: Herramienta de $\Phi 2$ mm ó $\Phi 3$ mm / rango de rpm en la rueda del motor de fresado entre las posiciones 2-3 / rango de velocidades de avance 5 – 15 mm/s. Para espesores gruesos es recomendable emplear velocidades bajas para no estropear las esquinas de la pieza.
- Contrachapado: Herramienta de $\Phi 3$ mm, a ser posible $\Phi 4$ mm. Si se va a rebajar un espesor grueso, hacer varias pasadas de 3 mm a lo sumo / rango de rpm en la rueda del motor de fresado entre las posiciones 2-3 / velocidad de avance 5 mm/s. Como prueba de las dificultades que se presentan al cortar este material obsérvese la [imagen 6.48](#).



Imagen 6.48: Rotura de una fresa de acero rápido de $\Phi 3$ mm durante el corte de contrachapado.
Fuente: Elaboración propia

- Pino: Herramienta de $\Phi 6$ mm para trabajos prolongados, rebajando un espesor máximo de 4 mm por pasada. Si el espesor a eliminar es pequeño y el tiempo de corte es bajo, es adecuado emplear un $\Phi 4$ mm / rango de rpm en la rueda del motor de fresado entre las posiciones 3-4 / velocidad de avance de 10 -15 mm/s

Las herramientas que se han empleado para el corte de madera han sido las que se muestran en las imágenes 6.49, 6.50 y 6.51. Puede apreciarse que el filo de corte de las herramientas se ha ennegrecido, debido a la naturaleza abrasiva del proceso de corte de la madera, fenómeno, que en ciertos casos degenera en la rotura de la fresa, como el caso anteriormente mostrado. De cualquier modo, hay que matizar que las tres primeras fresas (comenzando a contar desde la derecha) no son las más adecuadas para el corte de maderas duras, sería conveniente adquirir fresas como las dos primeras (contando desde la izquierda), menos proclives a romper en la zona próxima al mango, donde comienza el estrechamiento, el filo de corte.



Imagen 6.49: Herramientas de acero rápido empleadas (de izquierda a derecha: Fresa de $\Phi 6\text{mm}$ con mango de $\Phi 6\text{mm}$, Fresa de $\Phi 6\text{mm}$ con mango de $\Phi 6\text{mm}$, Fresa de $\Phi 6\text{mm}$ con mango de $\Phi 8\text{mm}$, Fresa de $\Phi 4\text{mm}$ con mango de $\Phi 8\text{mm}$ y Fresa $\Phi 3\text{mm}$ con mango de $\Phi 8\text{mm}$). Fuente: Elaboración propia



Imagen 6.50 (izquierda) Fresa de acero rápido con recubrimiento, de $\Phi 3\text{mm}$ con mango de $\Phi 6\text{mm}$.



Imagen 6.51 (derecha): Fresa de rebordear de acero rápido, para corte de madera, de $\Phi 5\text{mm}$.

Fuente: Elaboración propia

Como comentario adicional, **cabe destacar que** la fresa de la izquierda posee un recubrimiento que la hace más resistente al efecto abrasivo del corte, aunque padece del mismo problema que las fresas anteriores de igual fisonomía, es decir, tiende a romper en el estrechamiento inmediato al mango de sujeción, y además es más cara, por tanto se recomienda descartar su uso. Respecto a la de la derecha, se emplea para corte de maderas duras (pino y contrachapado), pero tiene una limitación importante, la longitud de su filo de corte es demasiado corta y por ello sólo puede emplearse para tablas de pequeño espesor.

Aplicando todo lo anterior se han cortado los componentes que figuran en el epígrafe 13.2 ANEXO 2: *Lista de corte de componentes*. Para organizar el trabajo, se han agrupado los componentes según espesores iguales, siempre tratando de aprovechar al máximo las

maderas disponibles. En la medida de lo posible se agruparán, [en la tabla de trabajo](#), piezas de la misma sección, a saber, morro, fuselaje, etc. pero con el objetivo de optimizar el uso de material esto no va a ser siempre posible así que en algunos casos aparecen piezas de diferentes módulos en la misma tabla.

Otro aspecto importante a destacar es observar cómo en las plantillas de corte correspondiente al Extremo de Ala las piezas aparecen duplicadas. En efecto está así concebido para que se corten dos Extremos de Ala al mismo tiempo, es decir, una derecha y otra izquierda. En otros casos aparecen las piezas duplicadas con un doble objetivo: tener redundancia de componentes por si aparecen problemas en el montaje (e.g. rotura), montaje de un mismo módulo en paralelo o con cierto desfase temporal para incorporar mejoras, o simplemente para corregir defectos de montaje que hubieren tenido lugar [durante](#) la primera construcción.

Finalmente hay que hablar del método de sujeción del material a la mesa de trabajo de la máquina CNC. Los métodos que se han empleado son:

- Para tablas de madera:
 - o Tablas de poco espesor (inferior a 4 mm) y/o de madera de balsa:
 - Método 1: Fijación mediante grapas (imagen [6.59](#)).
 - Método 2: Fijación mediante tornillos y arandelas (imagen [6.111](#)).
 - o Tablas de mayor espesor (superior a 4 mm) que no sean de madera de balsa:
 - Método 1: Fijación mediante tornillos (imagen [6.118](#)).
- Para planchas de metal y bloque de nylon:
 - Método 1: Fijación mediante tornillos y tacos de madera (imágenes [6.114](#) y [6.116](#)).

Con todas las consideraciones anteriores, se tiene (consultar epígrafe 5. *Planos de configuración* para conocer más detalles acerca de los componentes que se muestran en las páginas sucesivas):

- **Corte de la madera de balsa de espesor 1/8"**

Parámetros de corte de las plantillas generadas para los módulos de Fuselaje (Fuselaje de Morro y Fuselaje Central o Principal), grupo alar, superficies de control y estabilizadores del UAV:

- Fresa $\Phi 3$ mm
- Espesor de penetración: 3.175 mm en una pasada
- Velocidad de avance: 10 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

[Las imágenes 6.52 – 6.93](#) muestran las plantillas obtenidas con VCarve Pro para madera de balsa de espesor 1/8" y algunas fotografías tomadas durante el proceso de corte y construcción.

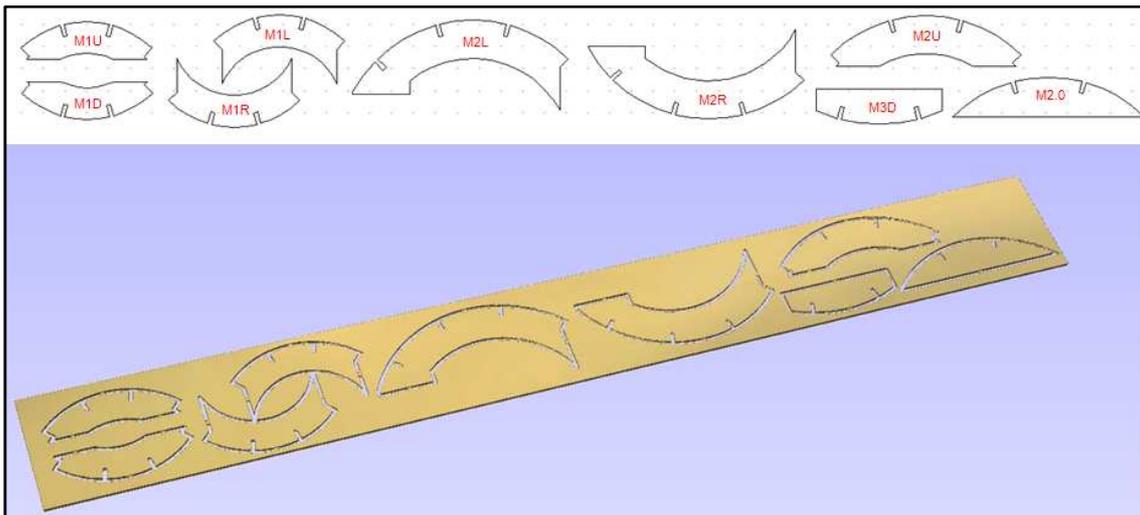


Imagen 6.52: Plantilla de corte 1 de Morro. Fuente: VCarve Pro

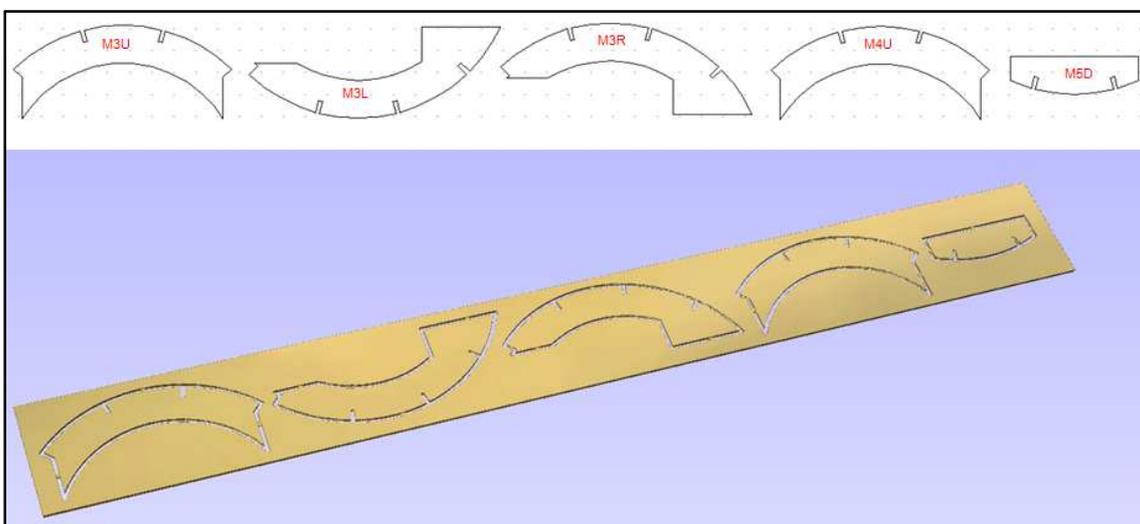


Imagen 6.53: Plantilla de corte 2 del Morro. Fuente: VCarve Pro

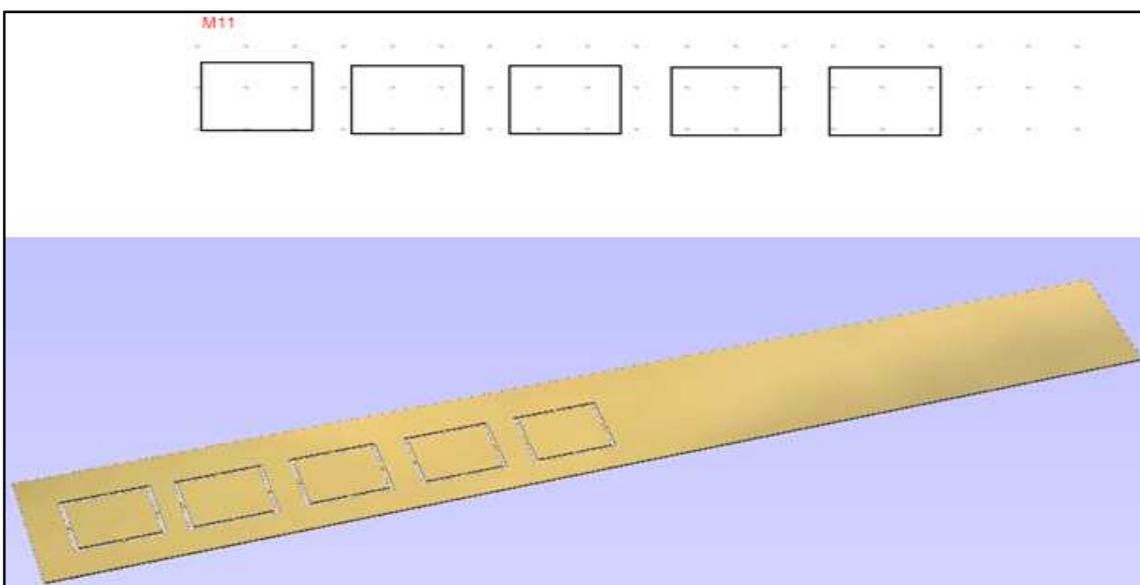


Imagen 6.54: Plantilla de corte 3 de Morro. Fuente: VCarve Pro

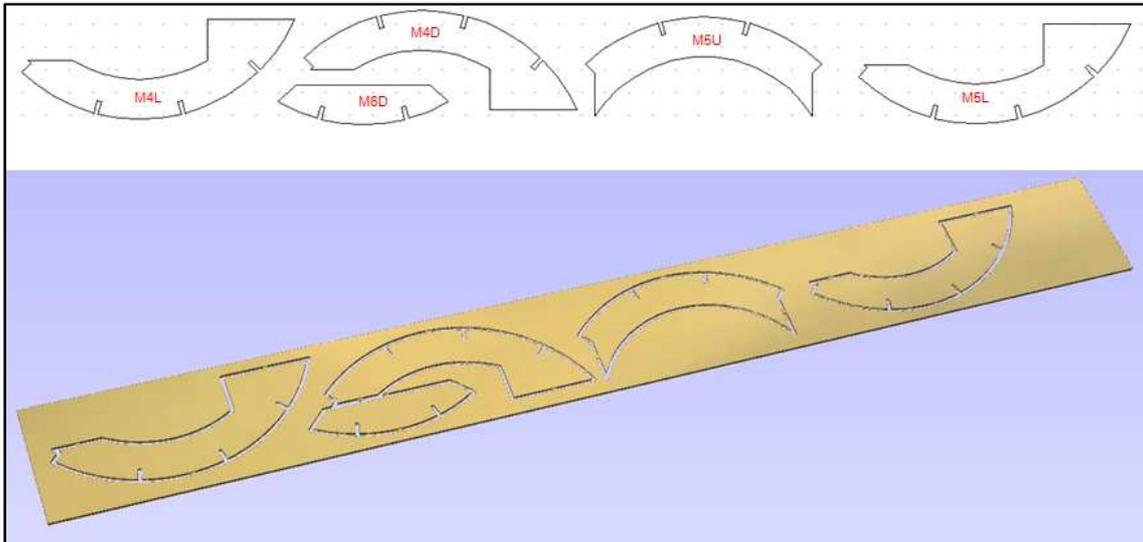


Imagen 6.55: Plantilla de corte 4 de Morro. Fuente: VCarve Pro

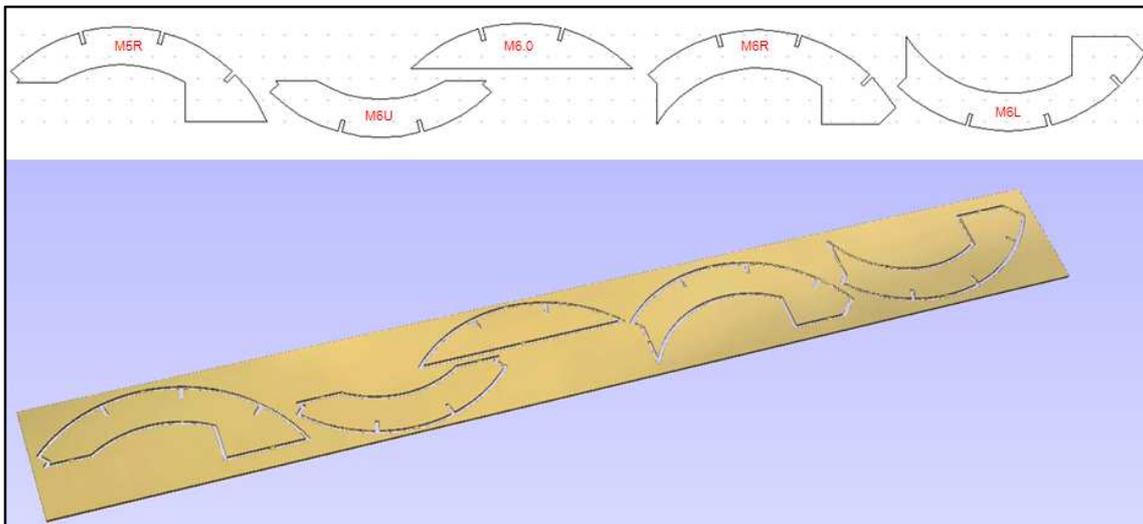


Imagen 6.56: Plantilla de corte 5 de Morro. Fuente: VCarve Pro

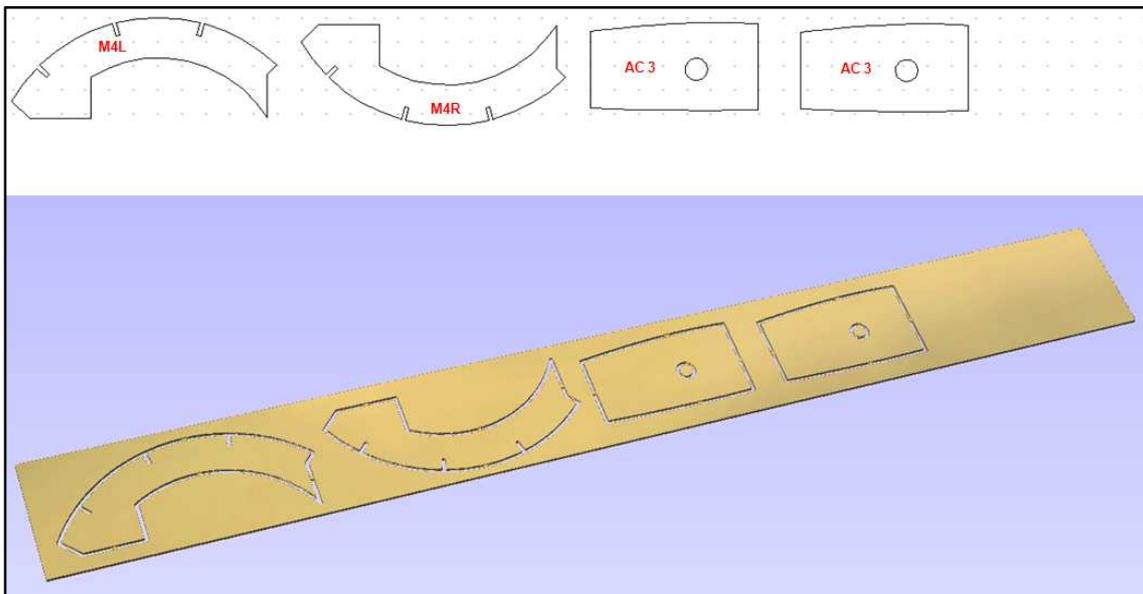


Imagen 6.57: Plantilla de corte 6 de Morro y Ala Central. Fuente: VCarve Pro

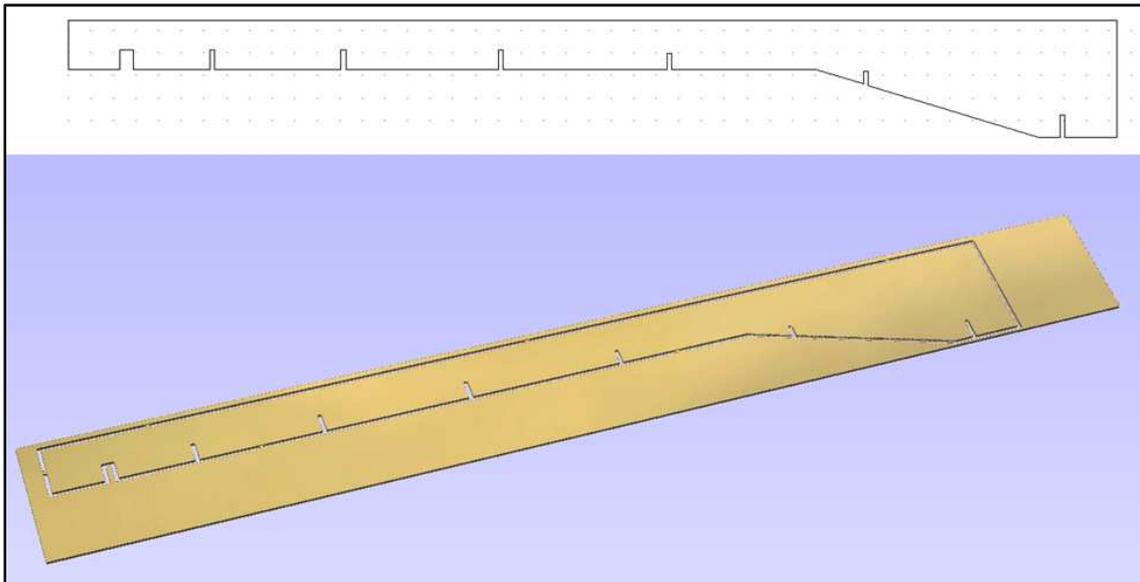


Imagen 6.58: Plantilla de corte del utilaje de alineación de Morro. Fuente: VCarve Pro

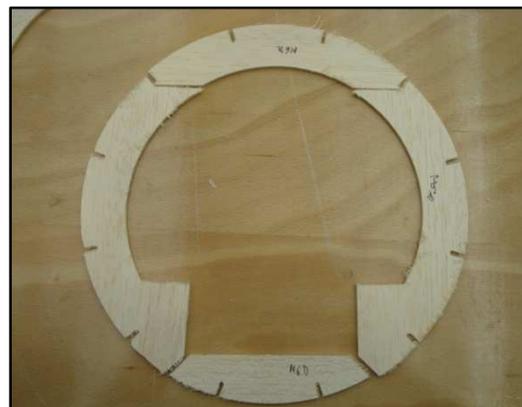


Imagen 6.59 (izquierda): Corte CNC de la plantilla 1 de Morro (plantilla antigua) / Imagen 6.60 (superior derecha): Corte CNC de piezas M11 / Imagen 6.61 (inferior derecha): Corte CNC de la cuaderna 6 de Morro. Fuente: Elaboración propia

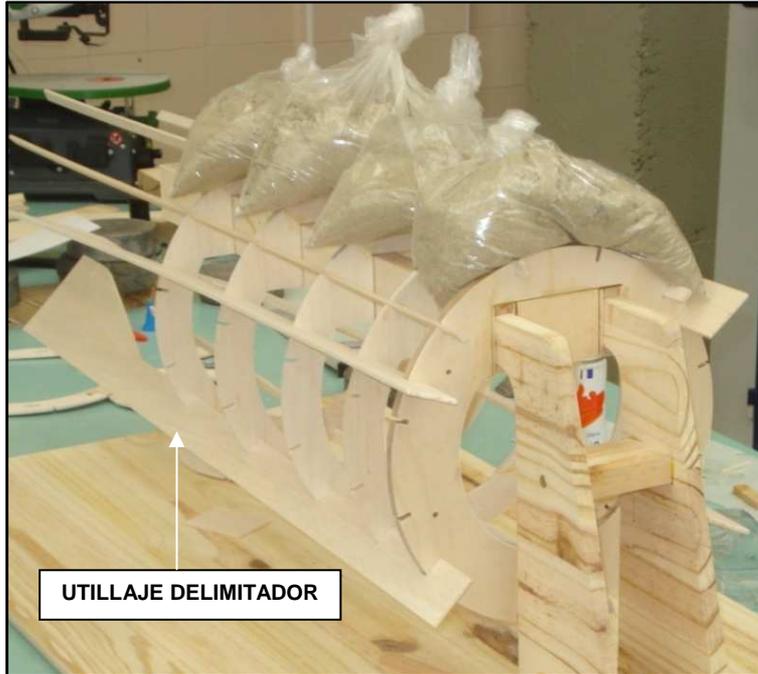


Imagen 6.62: Proceso de montaje de morro. Cuadernas alineadas mediante utillaje mostrado en la imagen 6.61. Fuente: Elaboración propia

Observaciones:

- Las cuadernas están cortadas en varias secciones (una inferior D: *Down*, una superior U: *Up*, una izquierda L: *Left* y otra derecha R: *Right*). La razón radica en que el estudio estructural revela que para soportar mejor las solicitaciones la beta de la madera debe orientarse de forma que la carga actúe en su dirección.
- En la plantilla mostrada en la imagen 6.57 se han incluido **dos piezas AC3** del Ala Central para aprovechar mejor el material.

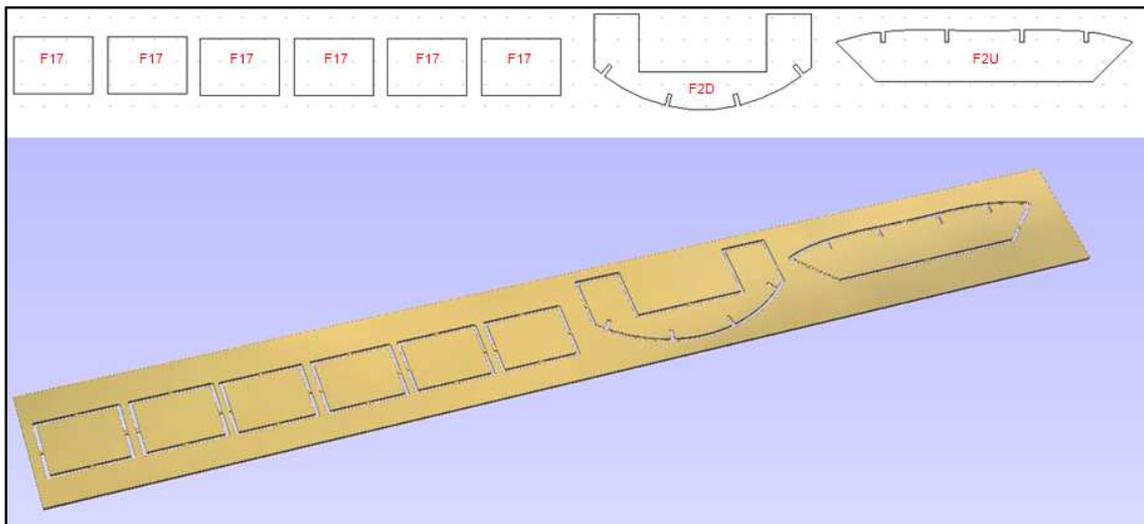


Imagen 6.63: Plantilla de corte 1 de Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

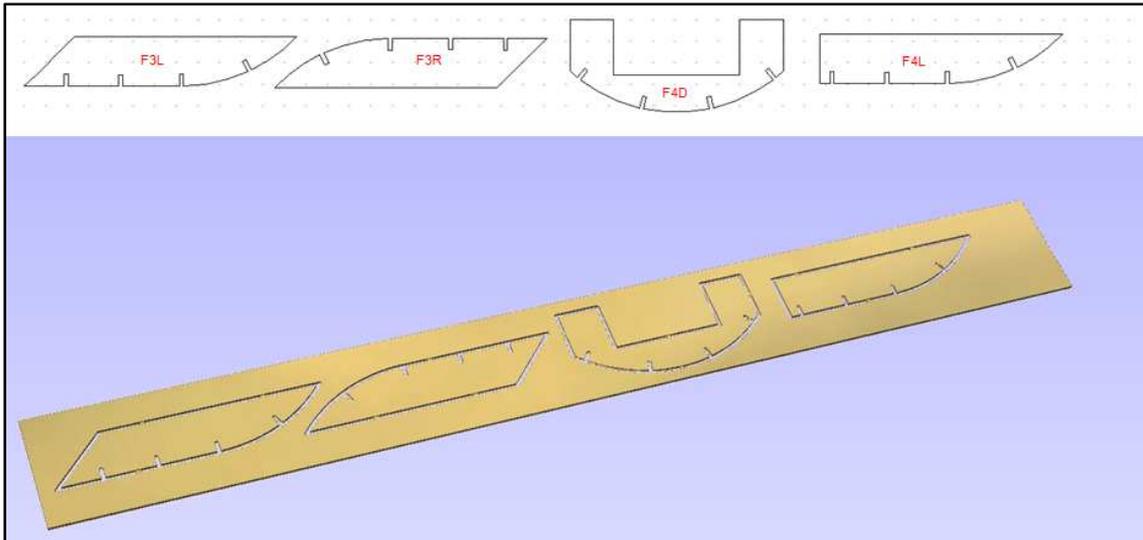


Imagen 6.64: Plantilla de corte 2 de Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

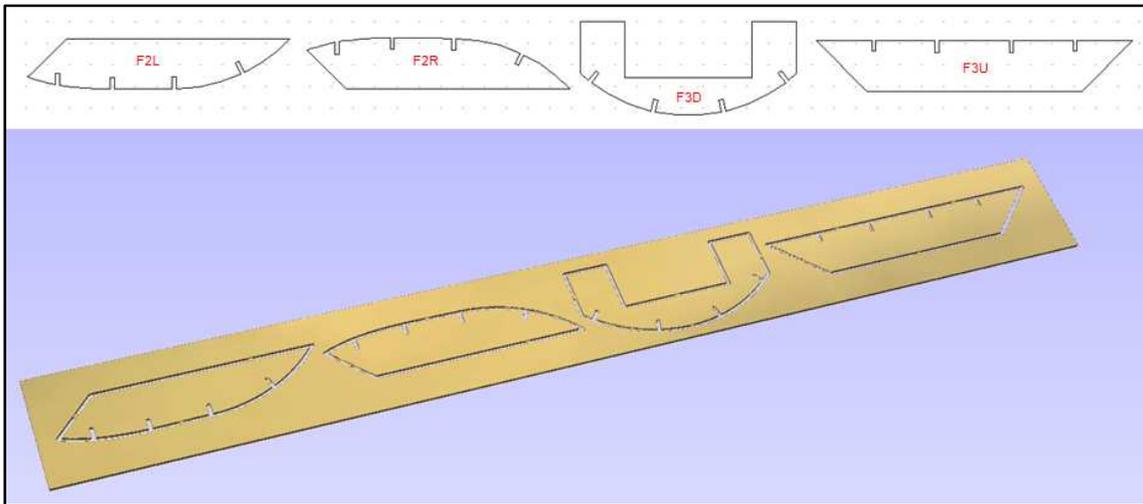


Imagen 6.65: Plantilla de corte 3 de Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

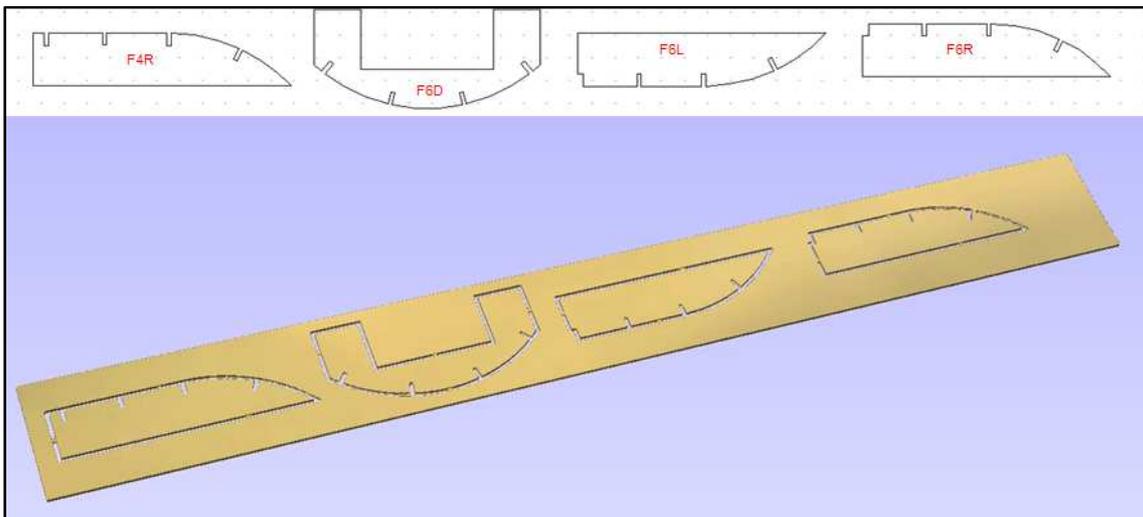


Imagen 6.66: Plantilla de corte 4 de Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

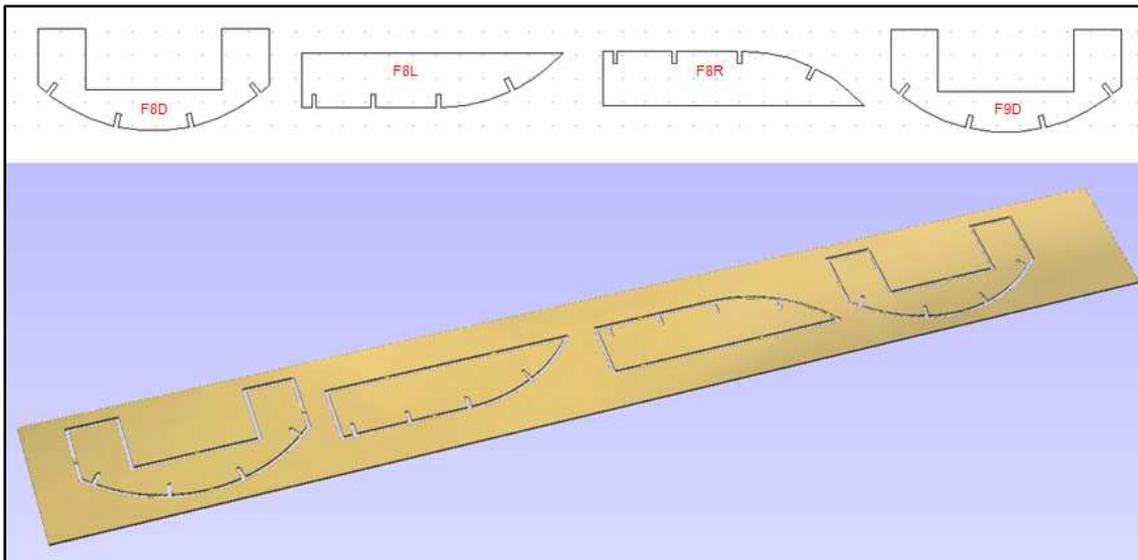


Imagen 6.67: Plantilla de corte 5 de Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

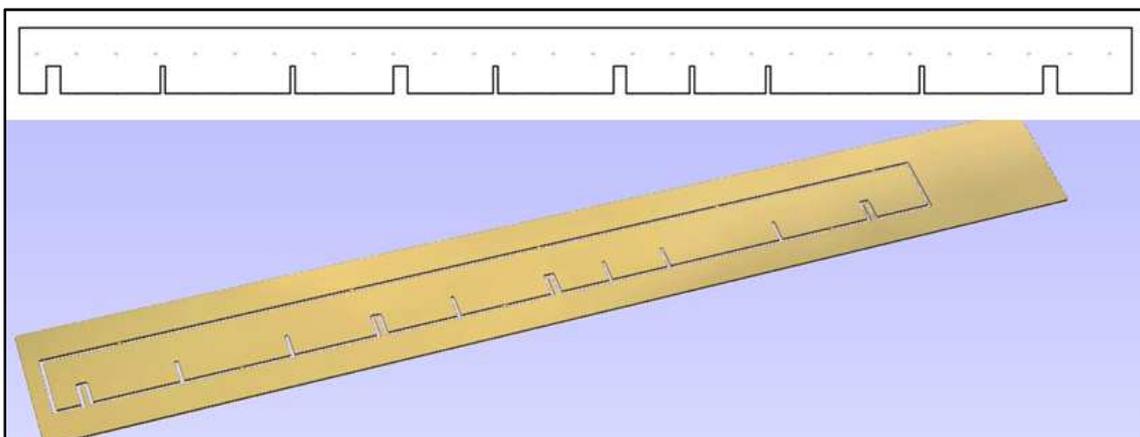


Imagen 6.68: Plantilla de corte del utilaje de alineación de las cuadernas de Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

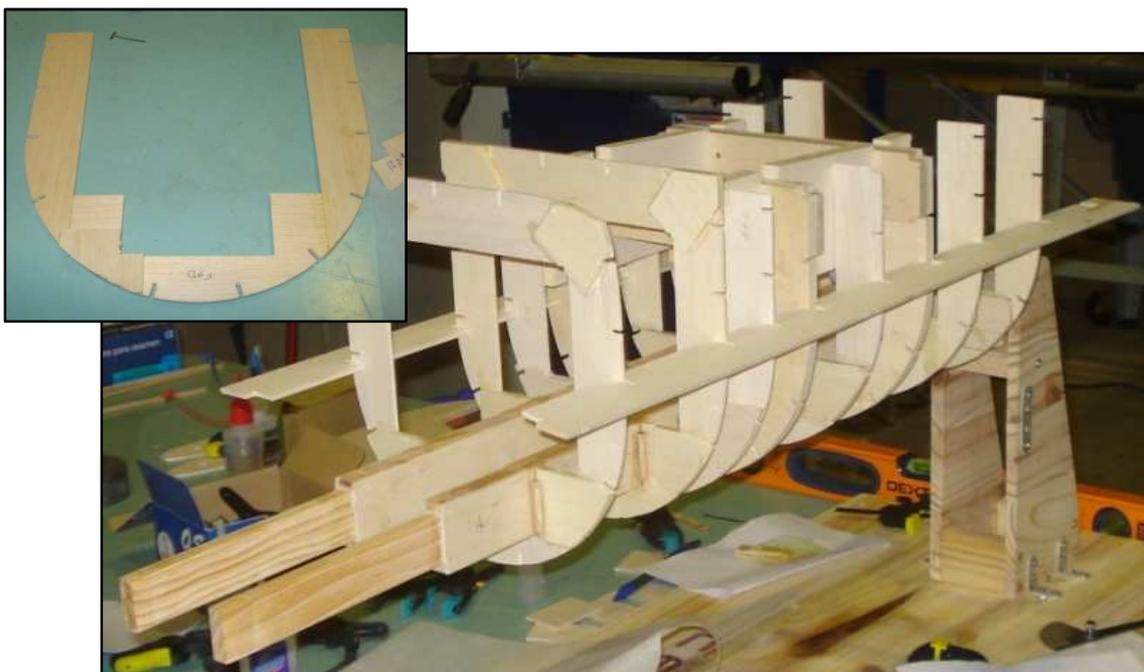


Imagen 6.69 (superior izquierda): Cuaderna de Fuselaje Central ya preparada / Imagen 6.70: Proceso de alineación de las cuadernas de Fuselaje Central mediante utilaje. Fuente: Elaboración propia

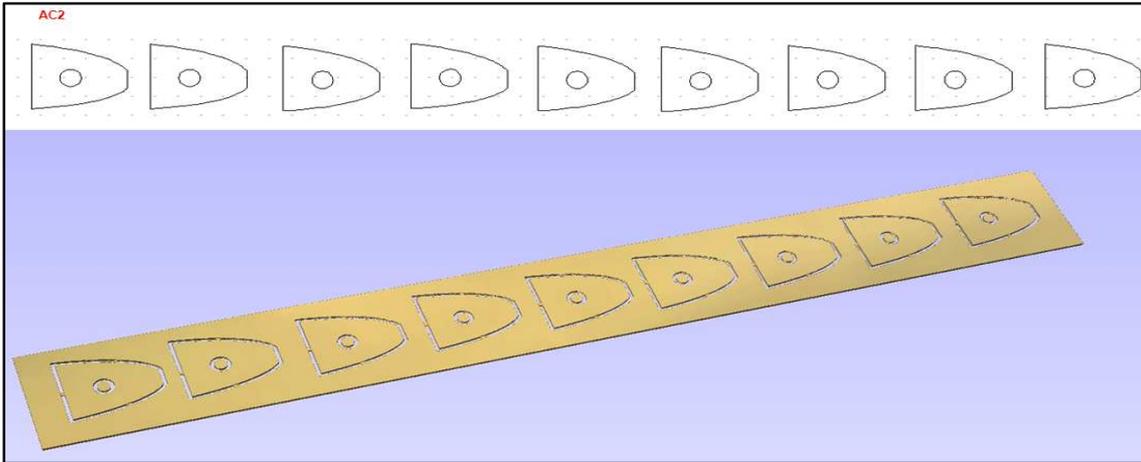


Imagen 6.71: Plantilla de corte 1 de Ala Central. Fuente: VCarve Pro

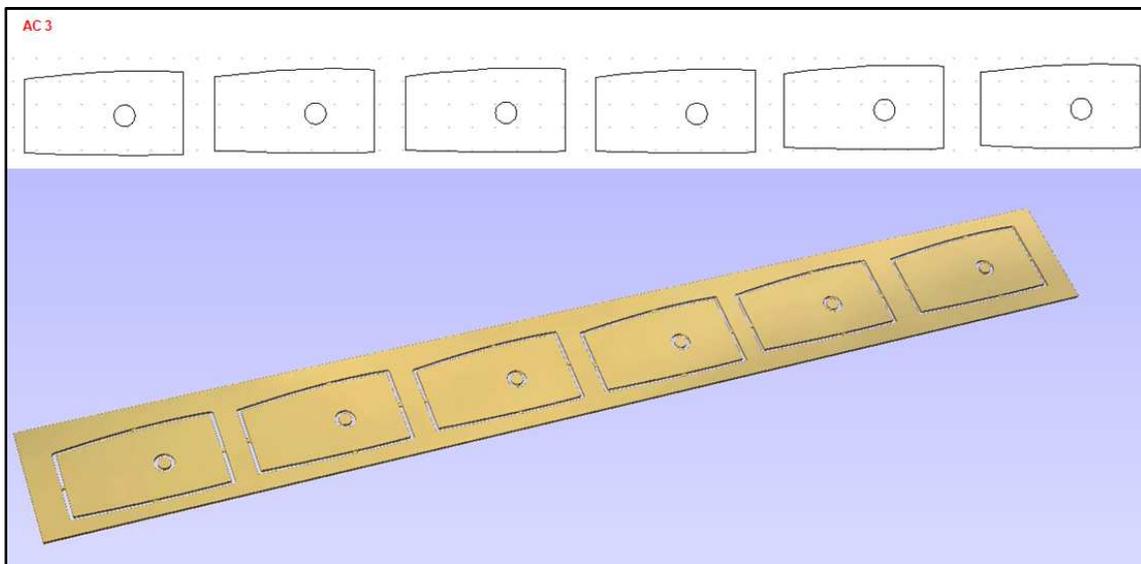


Imagen 6.72: Plantilla de corte 2 de Ala Central. Fuente: VCarve Pro

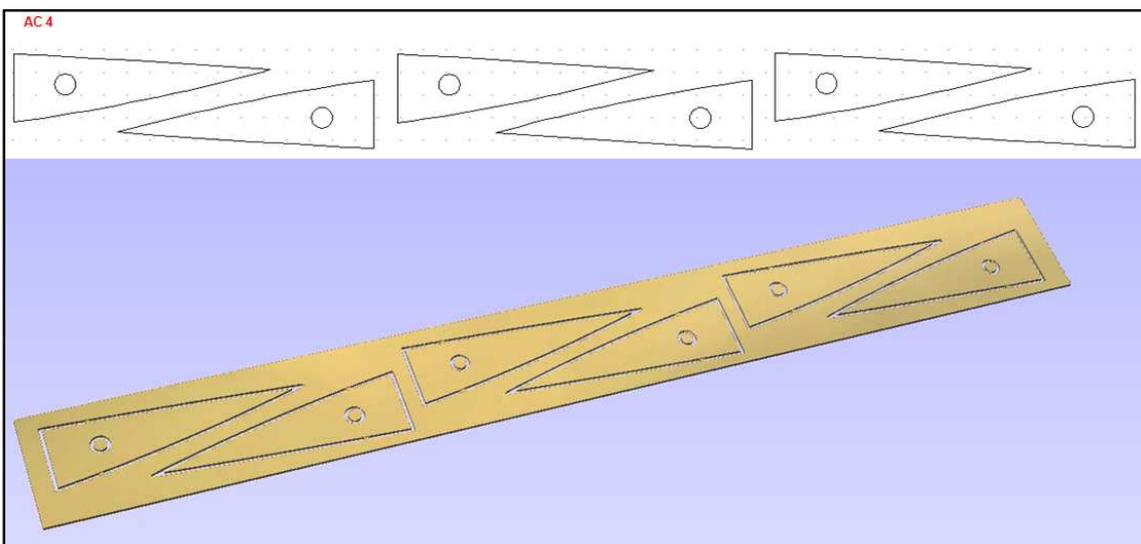


Imagen 6.73: Plantilla de corte 3 de Ala Central. Fuente: VCarve Pro

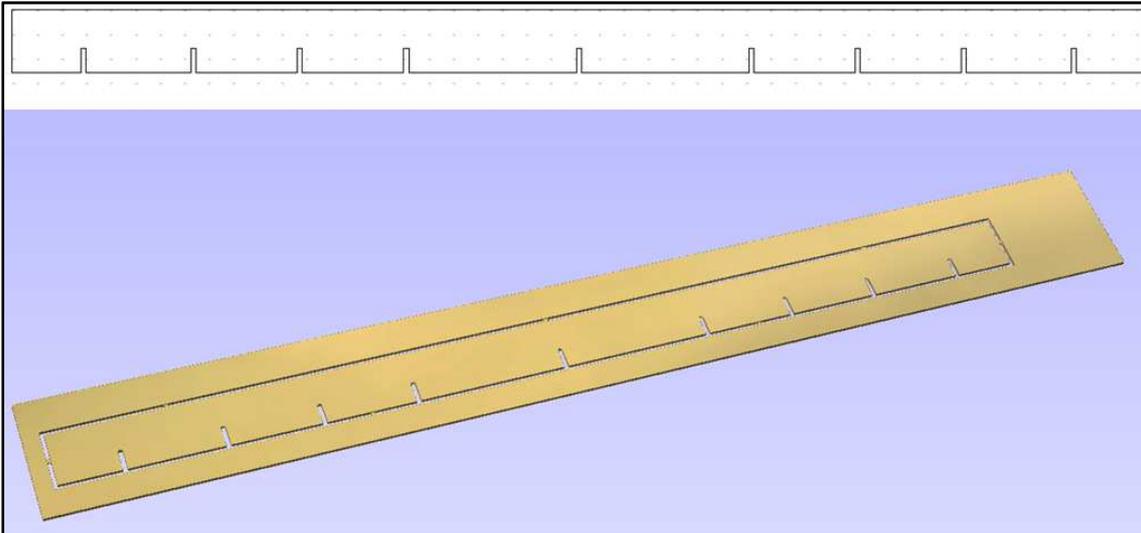


Imagen 6.74: Plantilla de corte del utillaje de alineación de Ala Central. Fuente: VCarve Pro

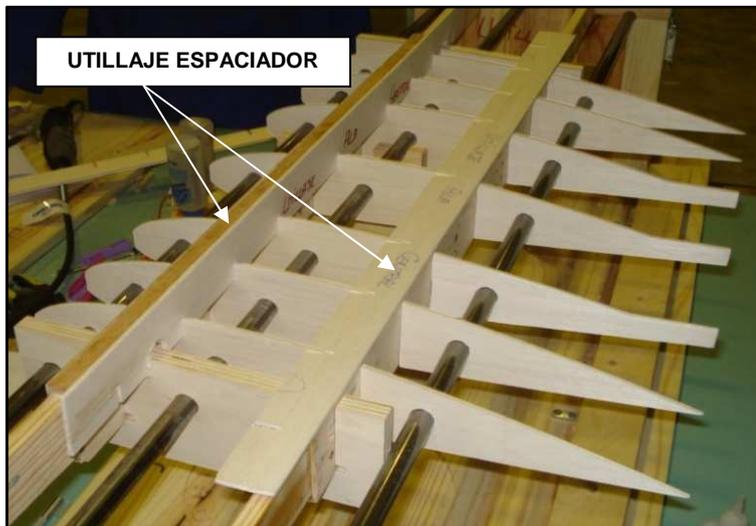


Imagen 6.75: Empleo del utillaje espaciador de Ala Central durante la construcción. Fuente: Elaboración propia

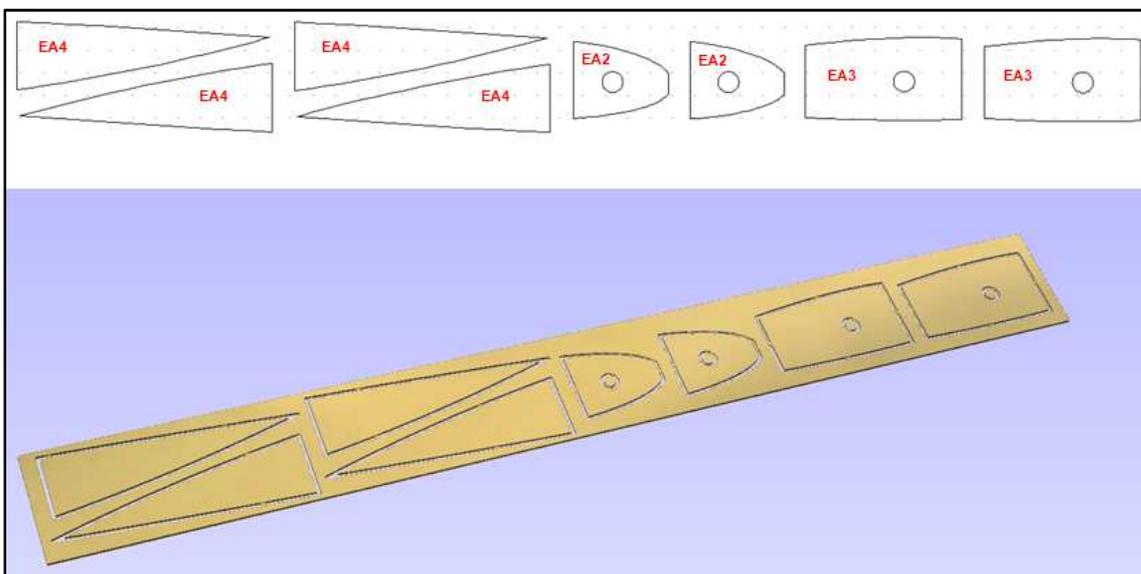


Imagen 6.76: Plantilla de corte 1 de Extremo Ala. Fuente: VCarve Pro

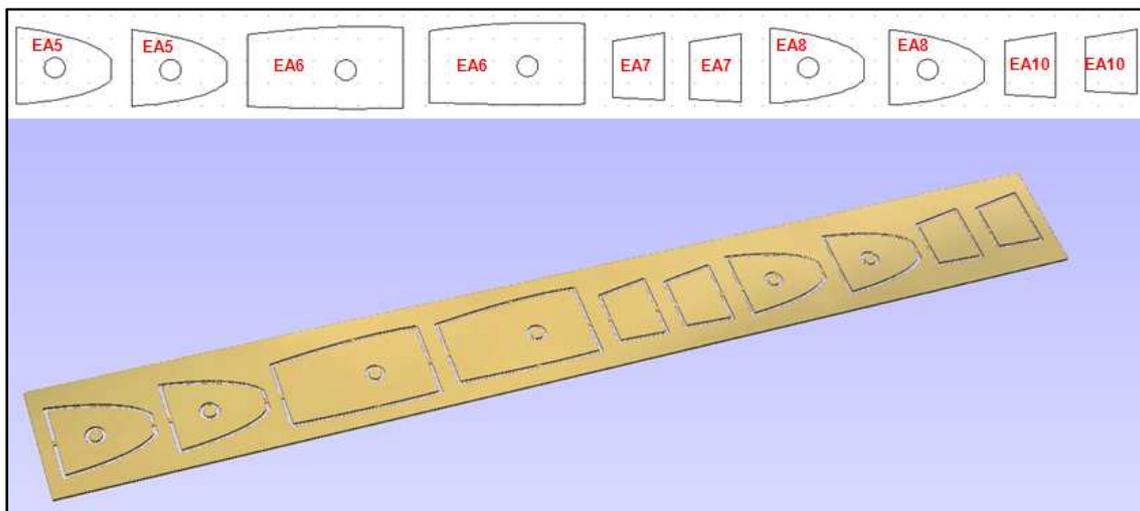


Imagen 6.77: Plantilla de corte 2 de Extremo Ala. Fuente: VCarve Pro

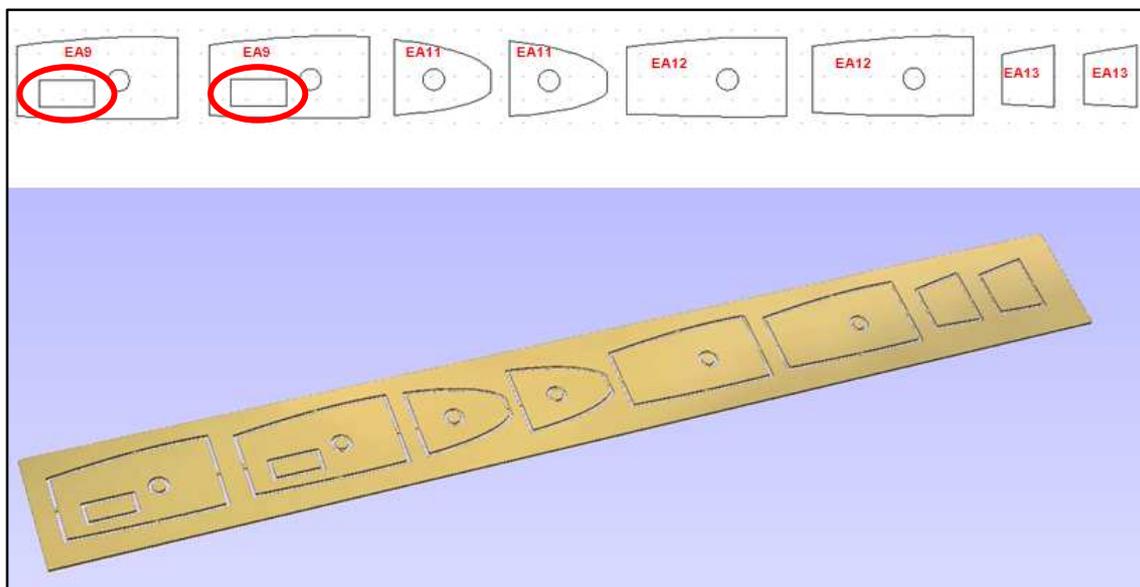


Imagen 6.78: Plantilla de corte 3 de Extremo Ala. Fuente: VCarve Pro

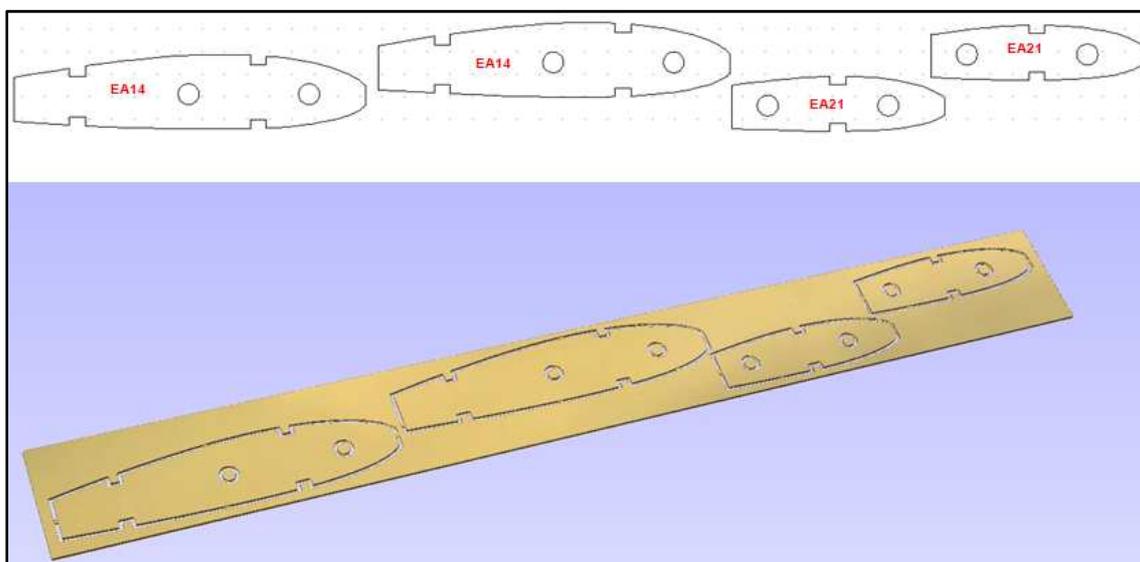


Imagen 6.79: Plantilla de corte 4 de Extremo Ala. Fuente: VCarve Pro

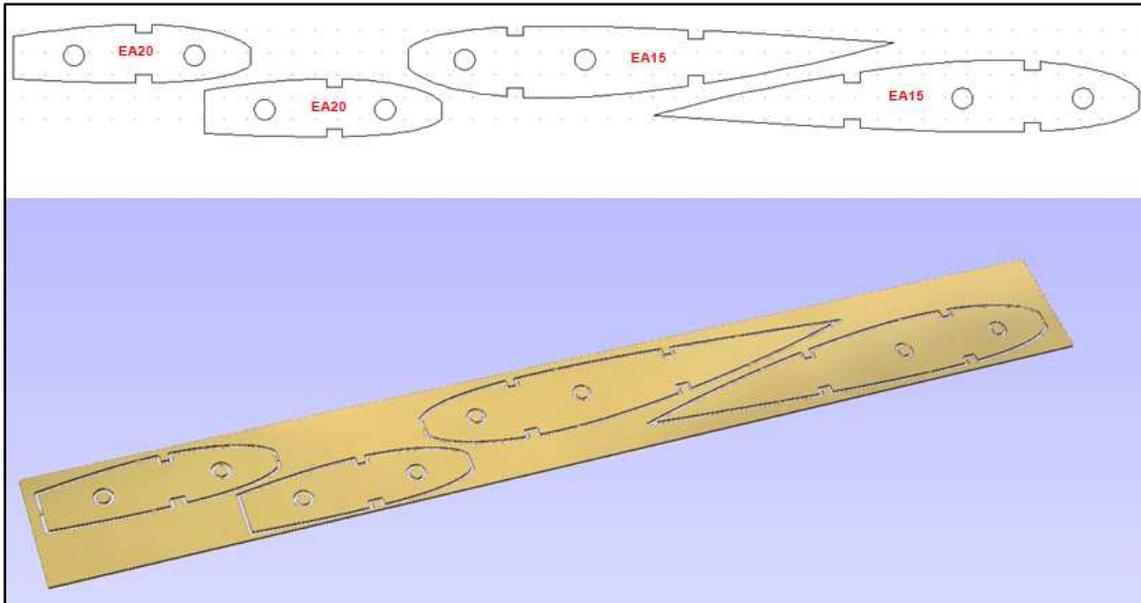


Imagen 6.80: Plantilla de corte 5 de Extremo Ala. Fuente: VCarve Pro

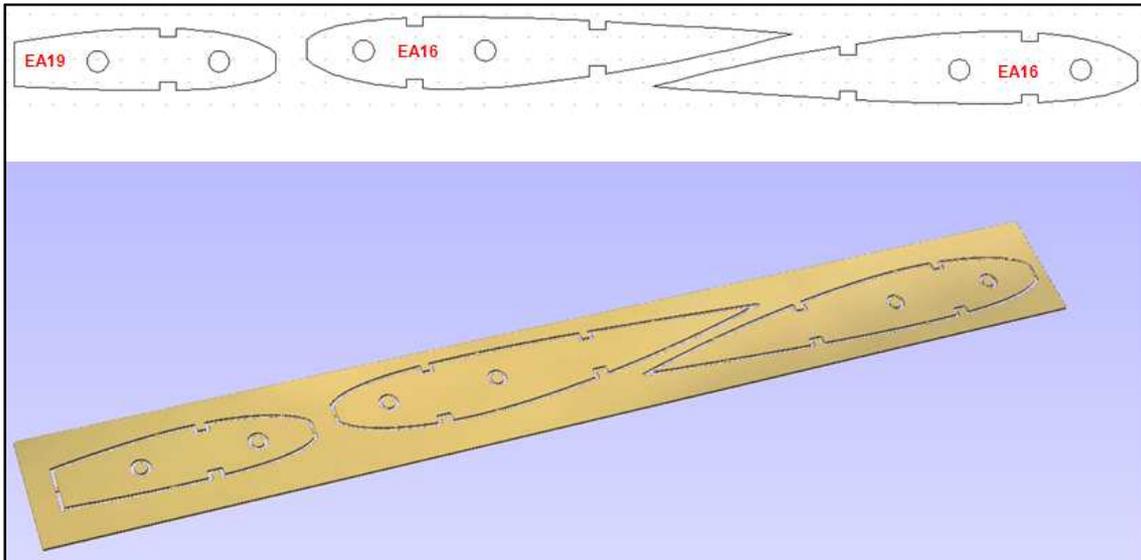


Imagen 6.81: Plantilla de corte 6 de Extremo Ala. Fuente: VCarve Pro

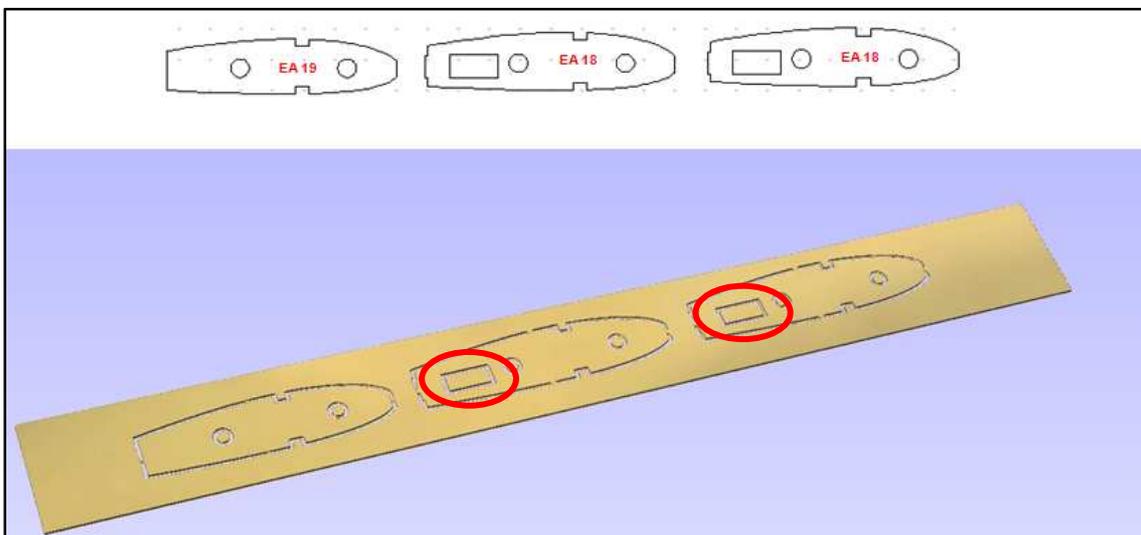


Imagen 6.82: Plantilla de corte 7 de Extremo Ala. Fuente: VCarve Pro

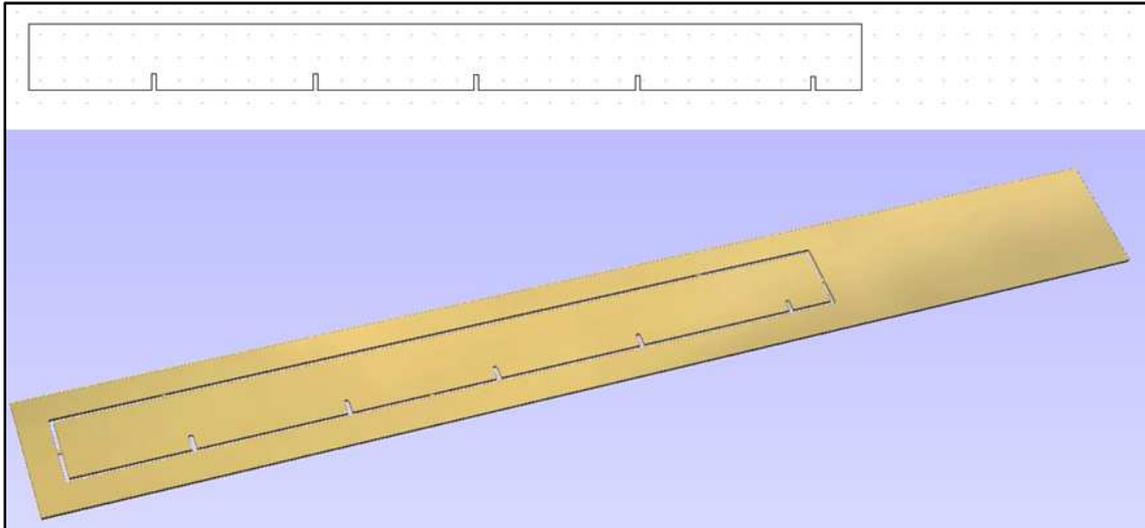


Imagen 6.83: Plantilla 1 del utillaje de Extremo de Ala. Fuente: VCarve Pro

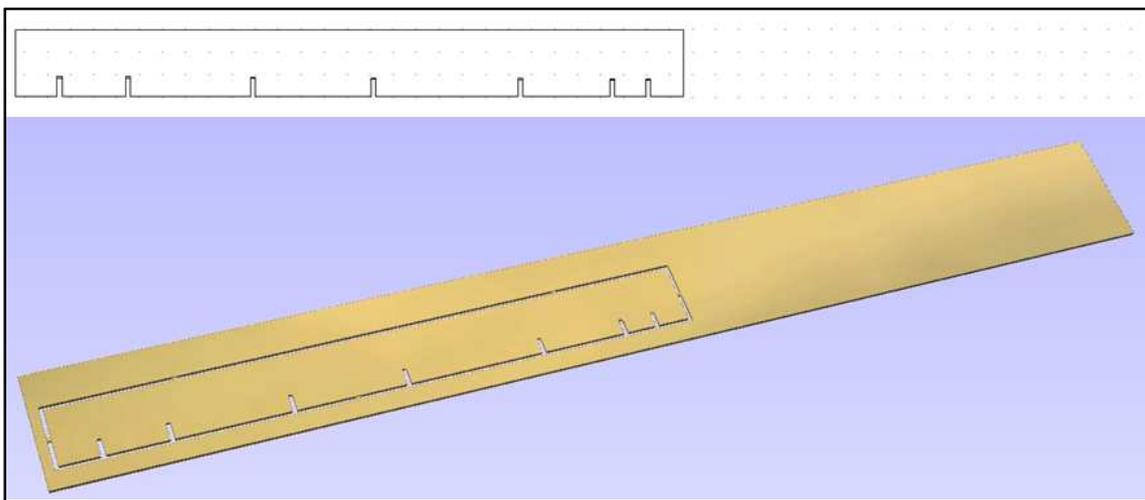


Imagen 6.84: Plantilla 2 del utillaje de Extremo de Ala. Fuente: VCarve Pro

Imágenes tomadas durante el proceso de construcción y fabricación de algunas de las piezas de las plantillas cortadas para la sección de Fuselaje Central:

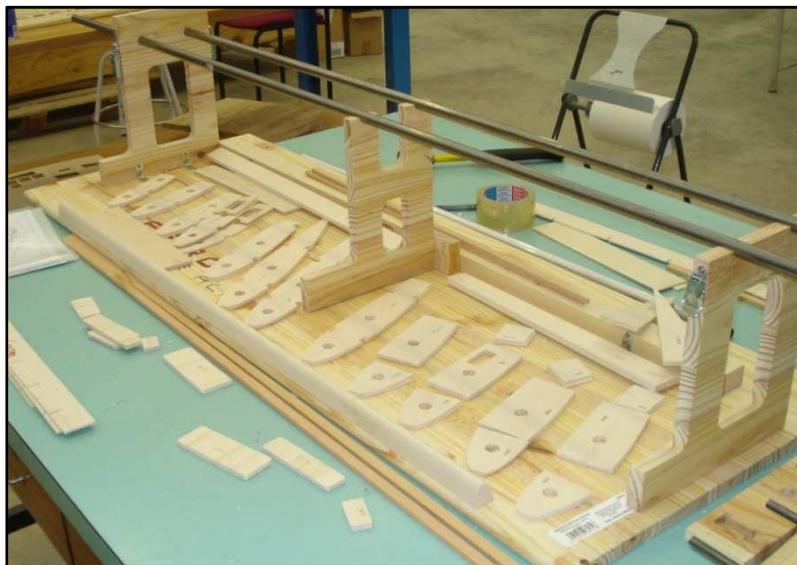


Imagen 6.85: Distintas componentes de las plantillas de Extremo de Ala.
Fuente: Elaboración propia



Imagen 6.86: Proceso de alineación de las costillas de Extremo de Ala mediante utillaje. Fuente: Elaboración propia

Observaciones:

- Nótese que la pieza EA9, localizada en la plantilla mostrada en la imagen 6.78, tiene una cavidad preparada para el alojamiento del servo que actúa el flap (ver indicación roja en la imagen 6.78).
- Nótese que la pieza EA18, localizada en la plantilla mostrada en la imagen 6.82, tiene una cavidad preparada para el alojamiento del servo que actúa el alerón (ver indicación roja en la imagen 6.82).
- Las costillas tienen dos agujeros, uno en su zona anterior y otro en la posterior, que permiten montarlas sobre el utillaje. No obstante no es su única misión, ya que los agujeros de la zona delantera se emplean para llevar los cables de servo hacia el Fuselaje Principal, donde conectan con el receptor.

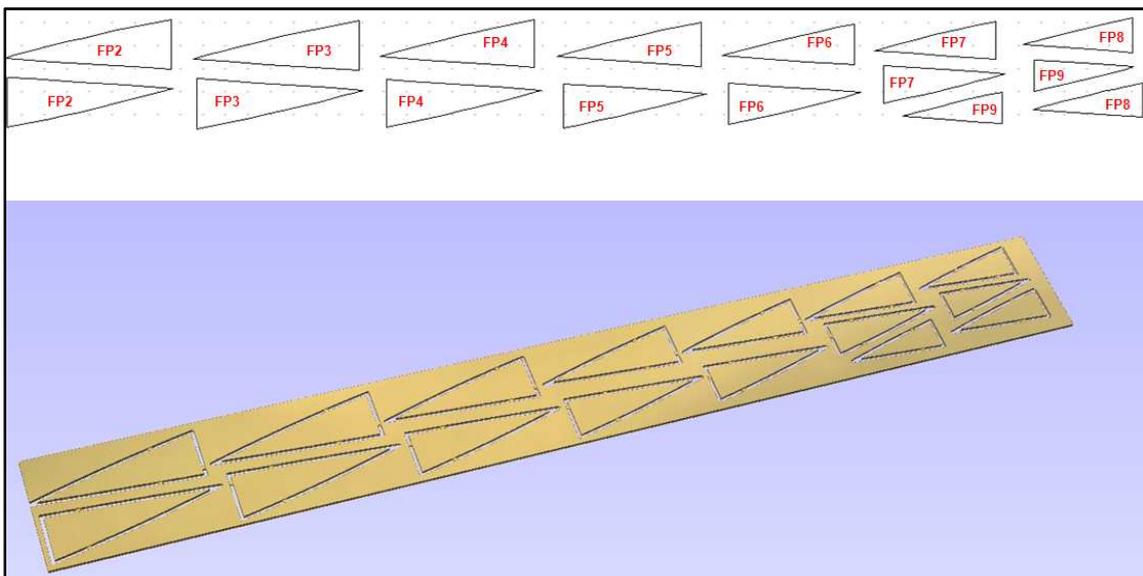


Imagen 6.87: Plantilla de corte 1 de Flap. Fuente: VCarve Pro

Observaciones:

- Esta plantilla debe ser cortada dos veces para tener los flaps de ambos Extremos de Ala.

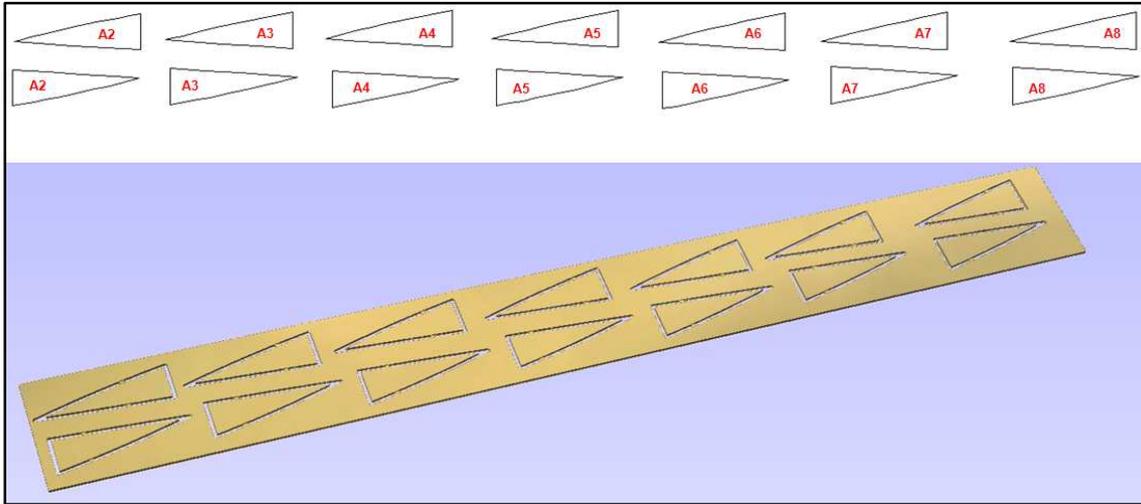


Imagen 6.88: Plantilla de corte 1 de Alerón. Fuente: VCarve Pro

Observaciones:

- Esta plantilla debe ser cortada dos veces para tener los alerones de ambos Extremos de Ala.

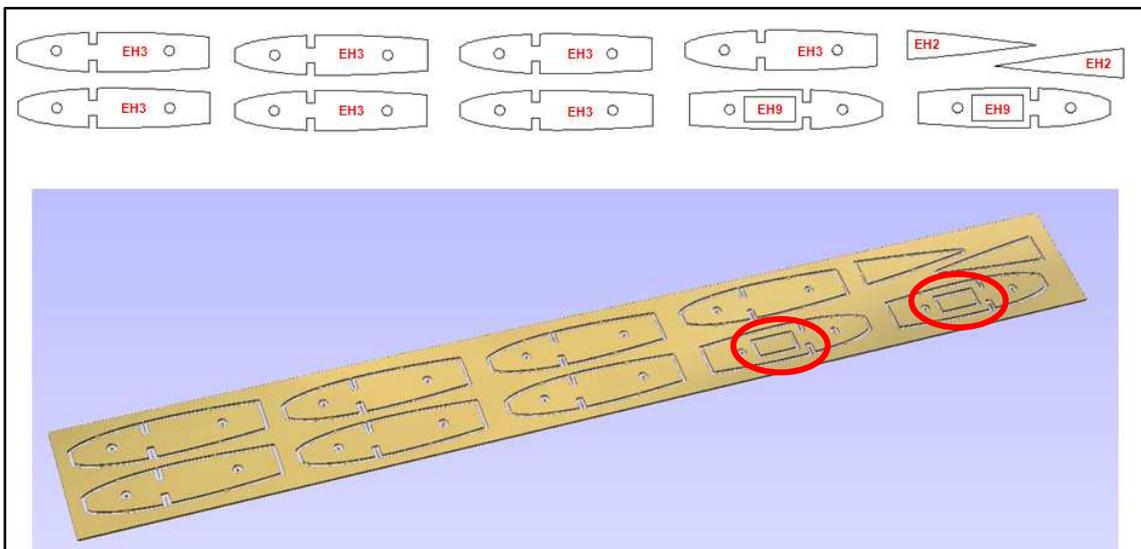


Imagen 6.89: Plantilla de corte 1 de Estabilizador Horizontal. Fuente: VCarve Pro

Observaciones:

- Nótese que la pieza EH9, localizada en la plantilla mostrada en la imagen 6.89, tiene una cavidad preparada para el alojamiento del servo que actúa el timón de profundidad (ver indicación roja en la imagen 6.89).
- Las costillas tienen dos agujeros, uno en su zona anterior y otro en la posterior, que permiten montarlas sobre el utillaje. No obstante no es su única misión, ya que los agujeros de la zona trasera se emplean para llevar los cables de servo hacia el extremo de los tubos de cola, desde donde viajan al Fuselaje Central para conectar con el receptor.

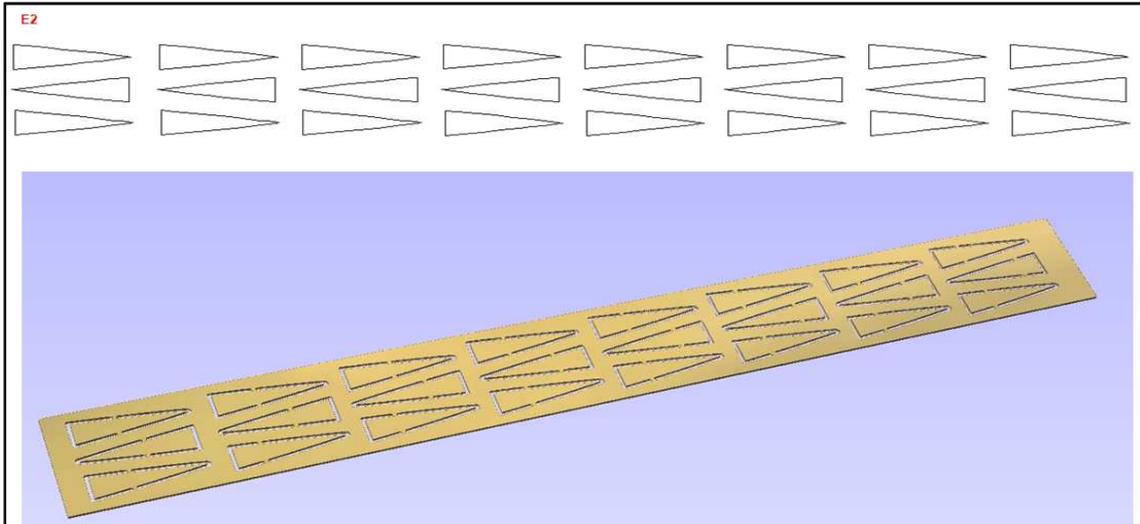


Imagen 6.90: Plantilla de corte 1 de Timón de profundidad. Fuente: VCarve Pro

Observaciones:

- Con esta plantilla se obtienen el número suficiente de piezas para construir dos timones de profundidad.

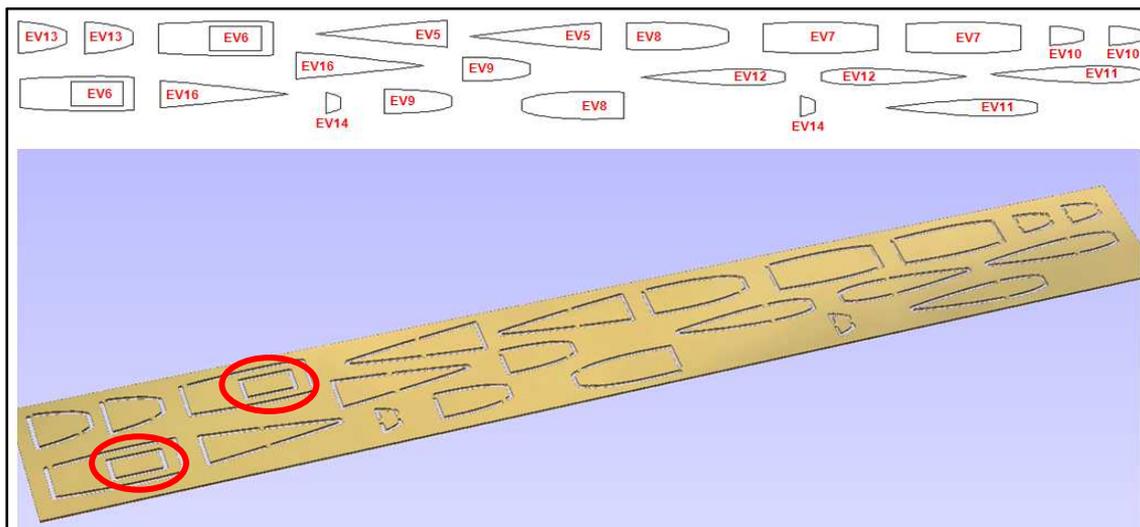


Imagen 6.91: Plantilla de corte 1 de Estabilizador Vertical. Fuente: VCarve Pro

Observaciones:

- Corte de costillas. Nótese que la pieza EV6, localizada en la plantilla mostrada en la imagen 6.91, tiene una cavidad preparada para el alojamiento del servo que actúa el timón de dirección (ver indicación roja en la imagen 6.91).

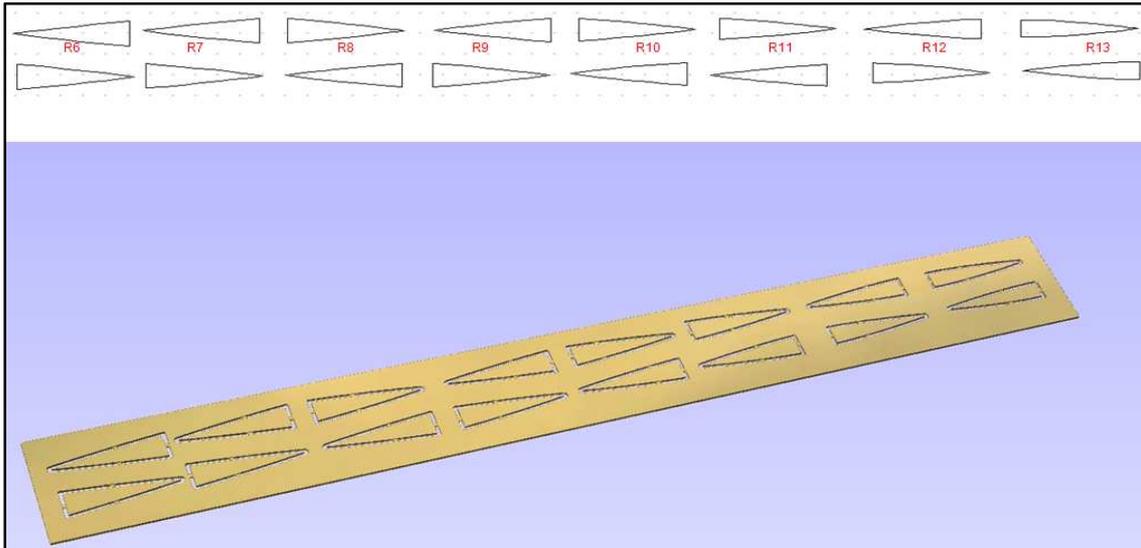


Imagen 6.92: Plantilla de corte 1 del Timón de dirección. Fuente: VCarve Pro

Con esto finaliza el corte en madera de balsa para espesor de 1/8". Los resultados pueden verse en la imagen 6.93.



Imagen 6.93: Algunos componentes de madera de balsa de 1/8" preparados para su montaje. Fuente: Elaboración propia

- **Corte de la madera de balsa de espesor 1/4"**

Parámetros de corte de las plantillas generadas para los módulos de fuselaje (Fuselaje de Morro y Fuselaje Central), grupo alar, superficies de control y estabilizadores.

- Fresa $\Phi 3$ mm
- Espesor de penetración: 6.35 mm \rightarrow dos pasadas de 3.175 mm.
- Velocidad de avance: 10 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.94 – 6.96 muestran las plantillas obtenidas con VCarve Pro para la madera de balsa de espesor 1/4".

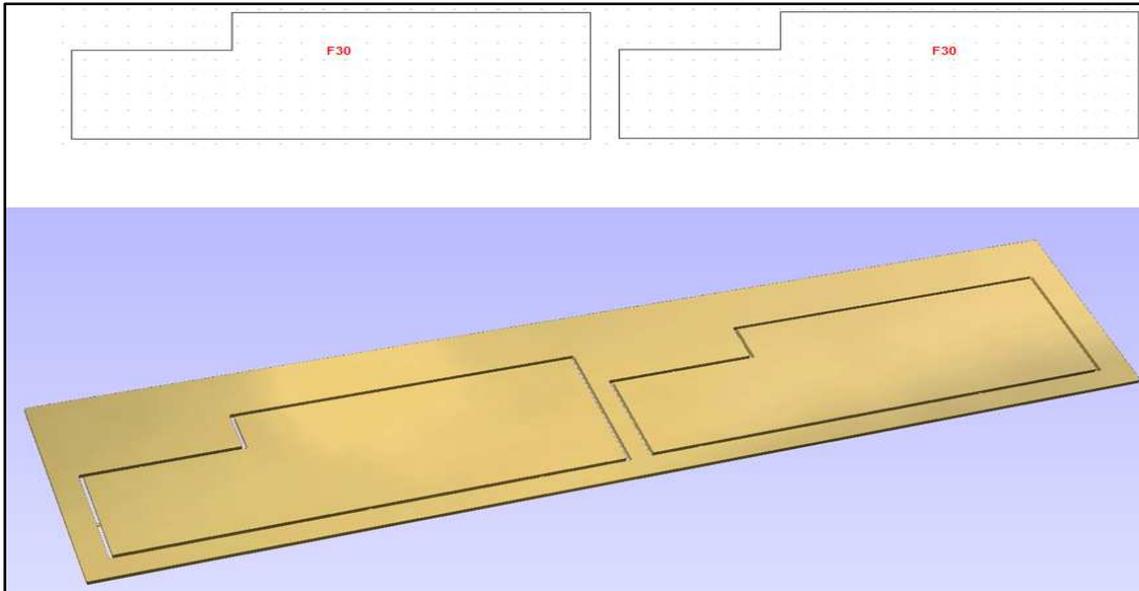


Imagen 6.94: Plantilla de corte 1 del Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

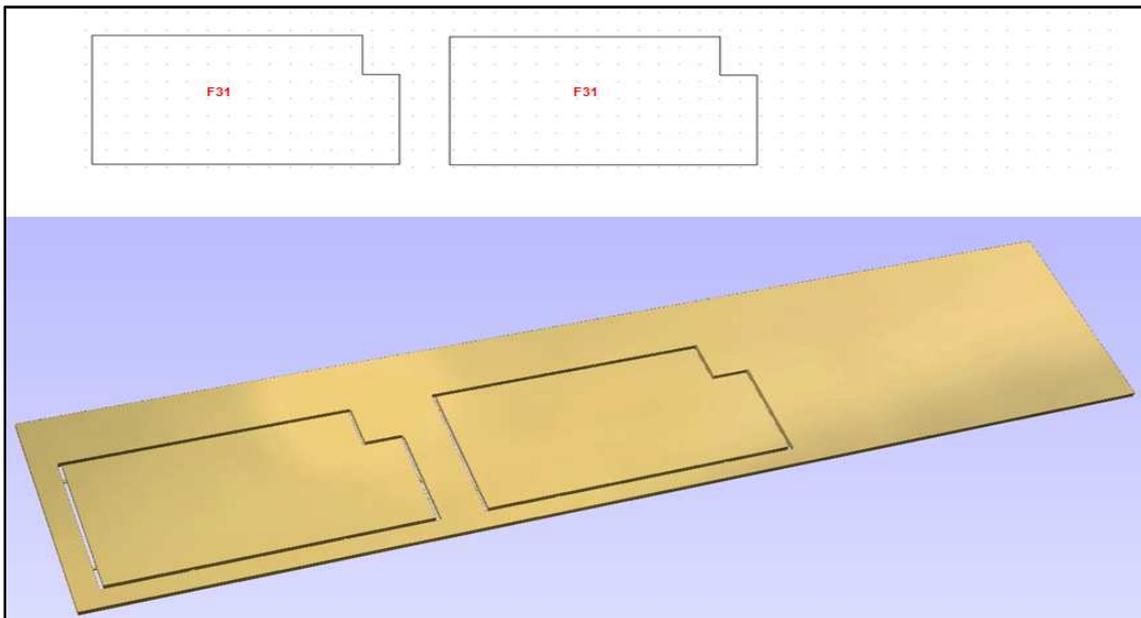


Imagen 6.95: Plantilla de corte 2 del Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

Observaciones:

- Se realizan dos pasadas, pues aunque la madera es de balsa y **por tanto** muy blanda, se ha comprobado que es un espesor demasiado elevado como para cortar en una pasada dejando buenas características de acabado.

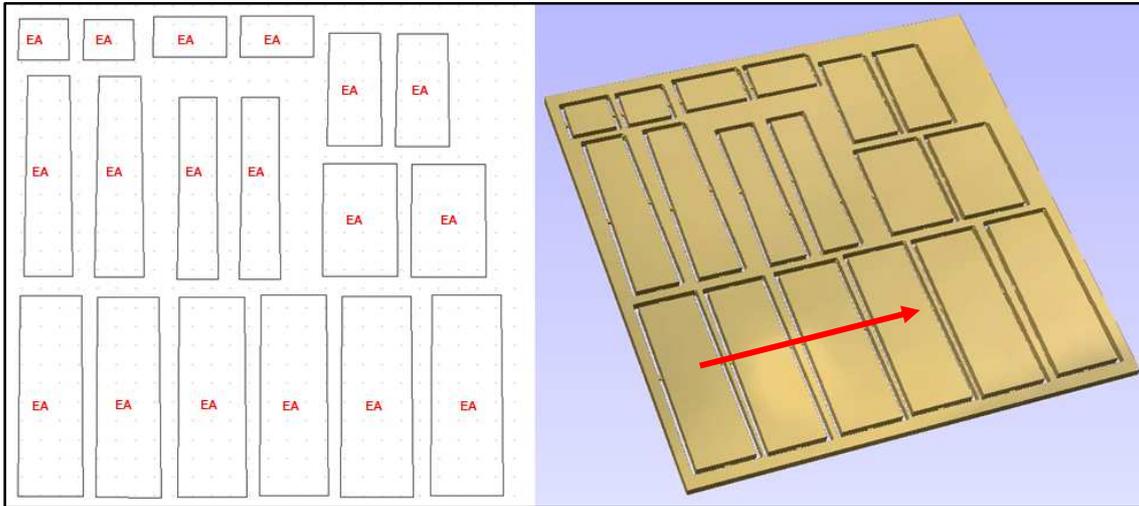


Imagen 6.96: Plantilla de corte 1 de Extremo de Ala. Fuente: VCarve Pro

Observaciones:

- Se debe resaltar que la orientación de la beta de la madera no es caprichosa, sino que está colocada en dirección normal al recubrimiento del ala, de forma que rigidiza la estructura reforzando el trabajo frente a las cargas de compresión (véase en la [imagen 6.96](#) la flecha que indica la dirección de la beta).
- **Corte de la madera de balsa de espesor 3/8"**

Parámetros de corte de las plantillas generadas para los módulos de fuselaje (Fuselaje de Morro y Fuselaje Central), grupo alar, superficies de control y estabilizadores.

- Fresa $\Phi 3$ mm
- Espesor de penetración: 9.525 mm \rightarrow tres pasadas de 3.175 mm.
- Velocidad de avance: 10 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.97 – 6.98 presentan respectivamente las plantillas creadas con VCarve Pro en madera de balsa de espesor 3/8" y una fotografía tomada durante el proceso de corte.

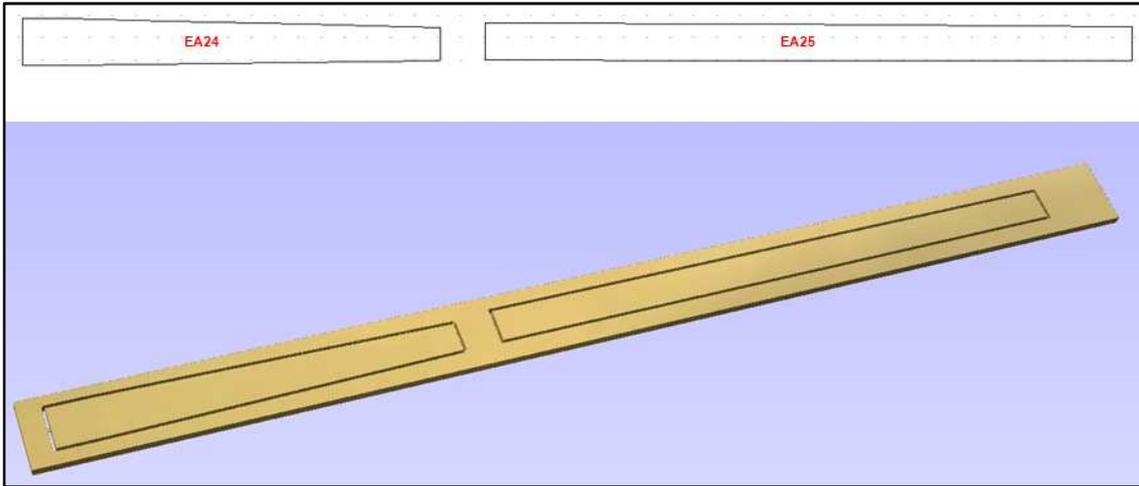


Imagen 6.97: Plantilla de corte 1 de Extremo de Ala. Fuente: VCarve Pro



Imagen 6.98: Corte CNC de la plantilla 1 del Extremo de Ala en balsa de espesor 3/8". Fuente: Elaboración propia

- **Corte de la madera de contrachapado de espesor 1/8"**

Parámetros de corte de las plantillas generadas para los módulos de fuselaje (Fuselaje de Morro y Fuselaje Central), grupo alar, superficies de control y estabilizadores.

- Fresa $\Phi 3$ mm
- Espesor de penetración: 3.175 mm en una pasada.
- Velocidad de avance: 5 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.99 – 6.103 muestran las ilustraciones obtenidas con VCarve Pro de las plantillas de contrachapado de espesor 1/8".

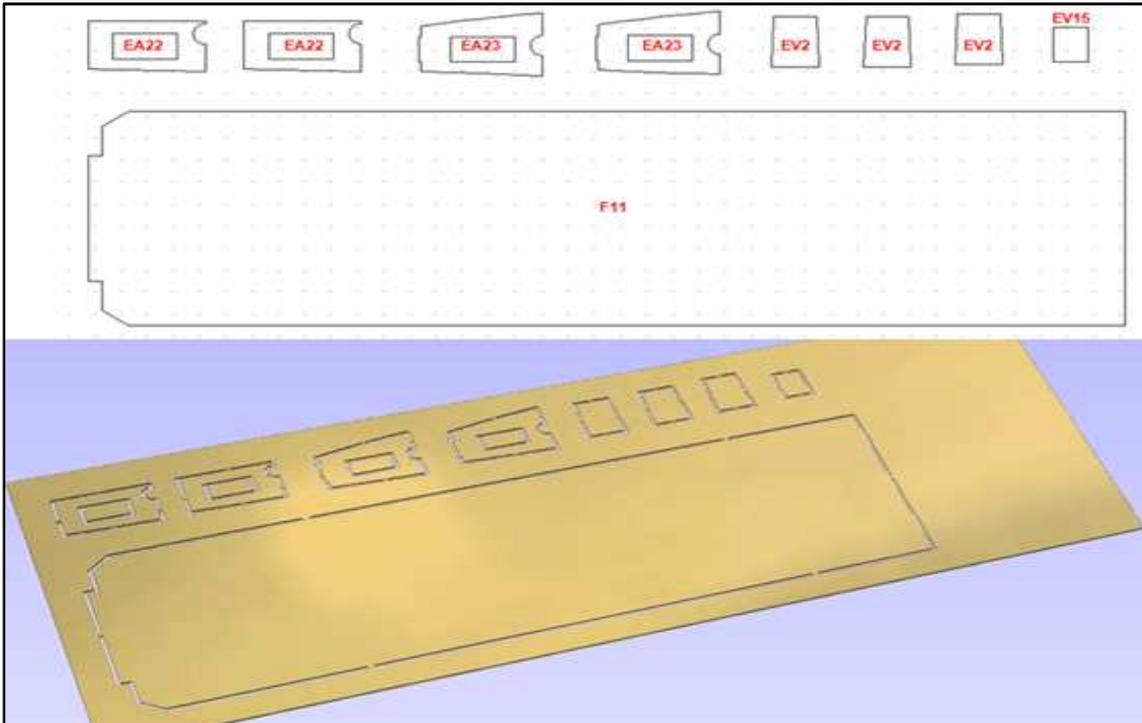


Imagen 6.99: Plantilla de corte 1 de Morro y Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

Observaciones:

- Todas las piezas anteriores, excepto el suelo ([componente F11 de la plantilla mostrada en la imagen 6.99](#)), deben ser cortadas dos veces, para cada Extremo de Ala y cada Estabilizador Vertical, por eso se incluirán en una plantilla posterior.

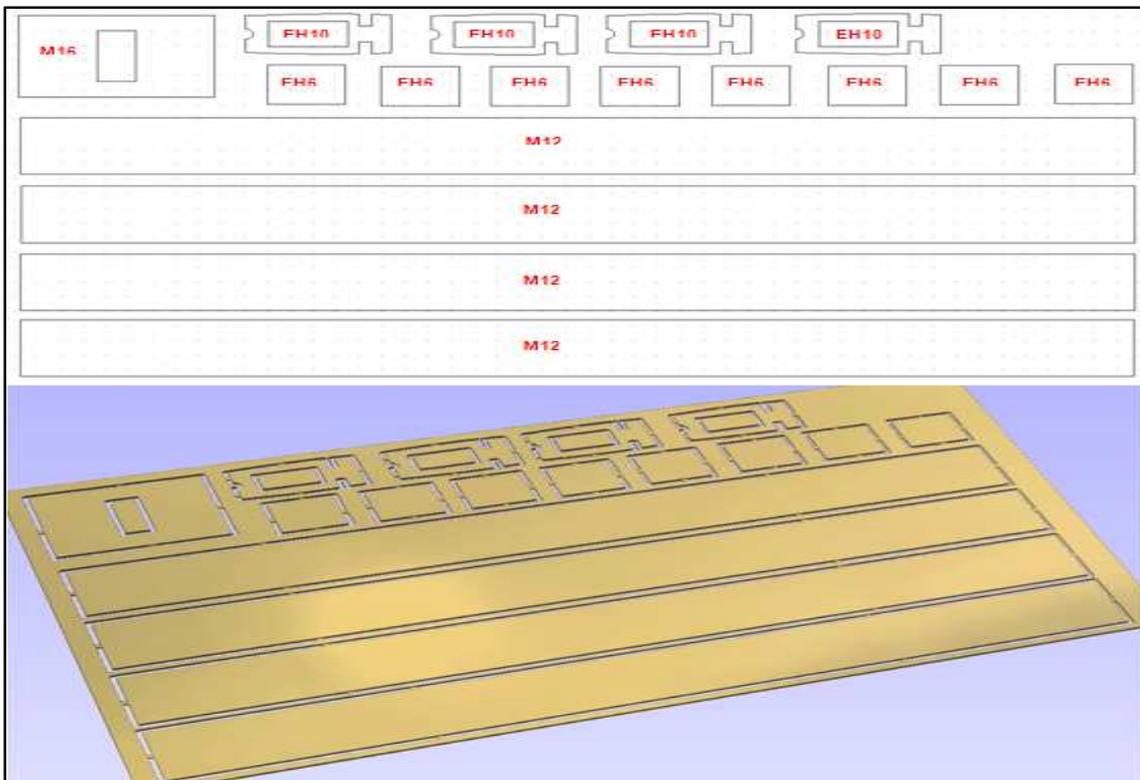


Imagen 6.100: Plantilla de corte 1 de Morro y Estabilizador Horizontal. Fuente: VCarve Pro

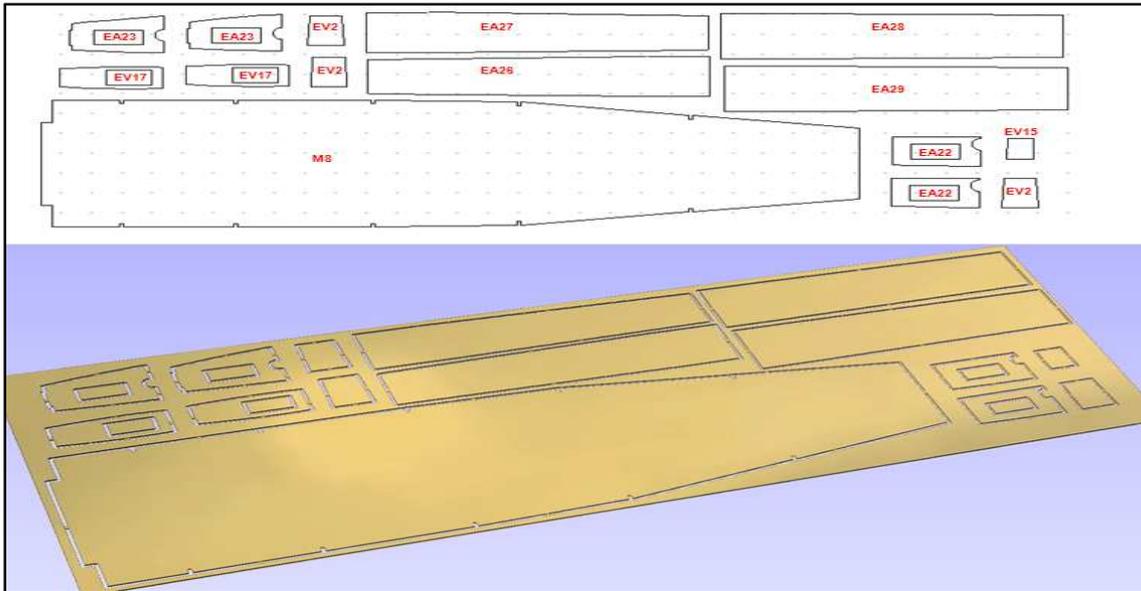


Imagen 6.101: Plantilla de corte 1 de Morro, Estabilizador Vertical y Extremo de ala. Fuente: VCarve Pro

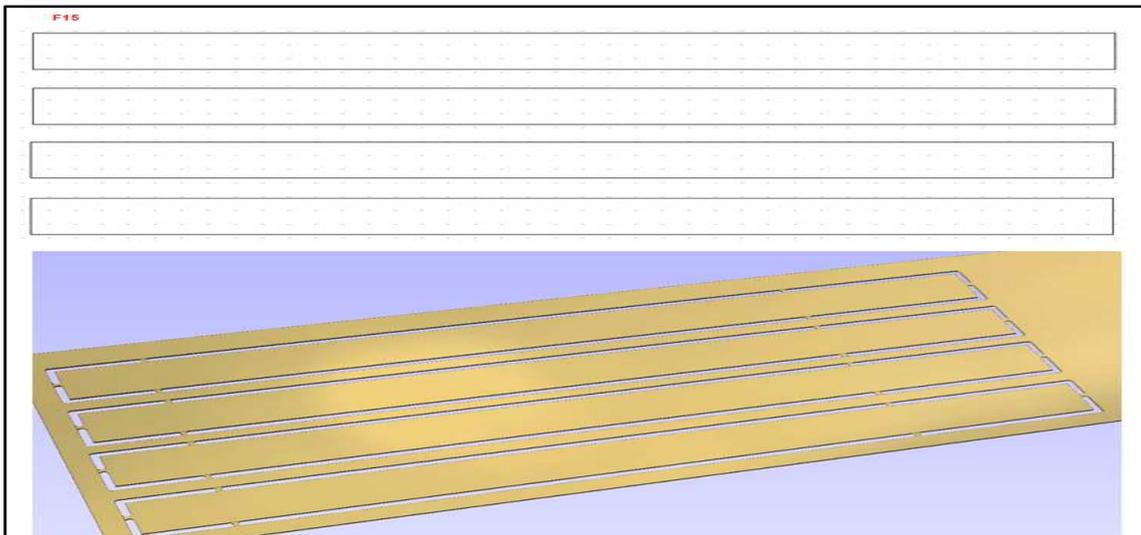


Imagen 6.102: Plantilla de corte 1 de Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

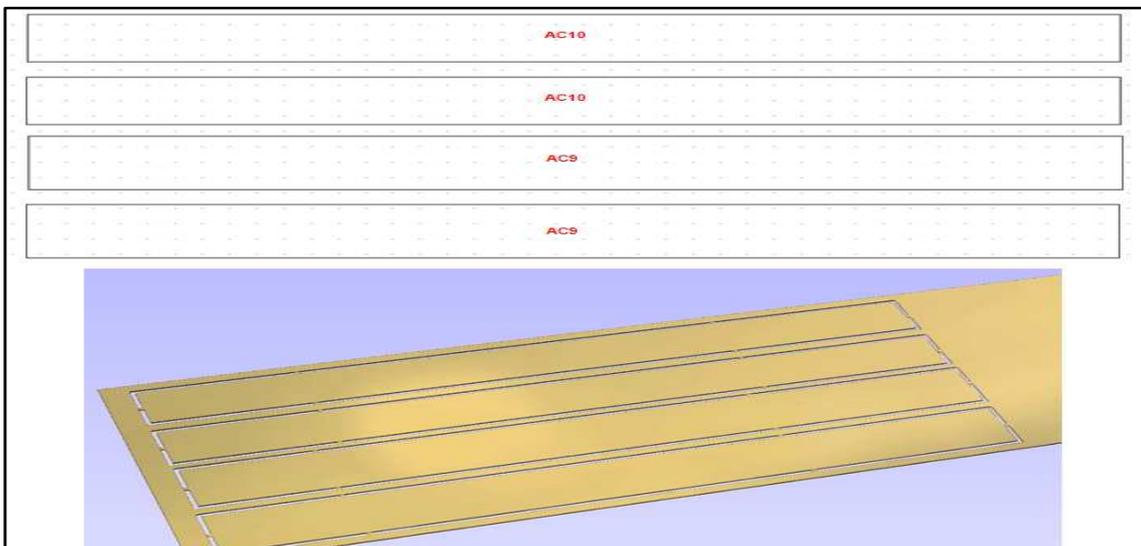


Imagen 6.103: Plantilla de corte 1 de Ala Central. Fuente: VCarve Pro

- **Corte de la madera de contrachapado de espesor 1/4"**

Parámetros de corte de la plantilla **generadas** para los módulos de fuselaje (Fuselaje de Morro y Fuselaje Central), grupo alar, superficies de control y estabilizadores.

- Fresa $\Phi 4$ mm
- Espesor de penetración: 6.35 mm en dos pasadas de 3.175 mm cada una.
- Velocidad de avance: 5 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.104–6.105 muestran, respectivamente, la plantilla realizada con VCarve Pro en madera de contrachapado de espesor 1/4" y una fotografía tomada durante el proceso de construcción.

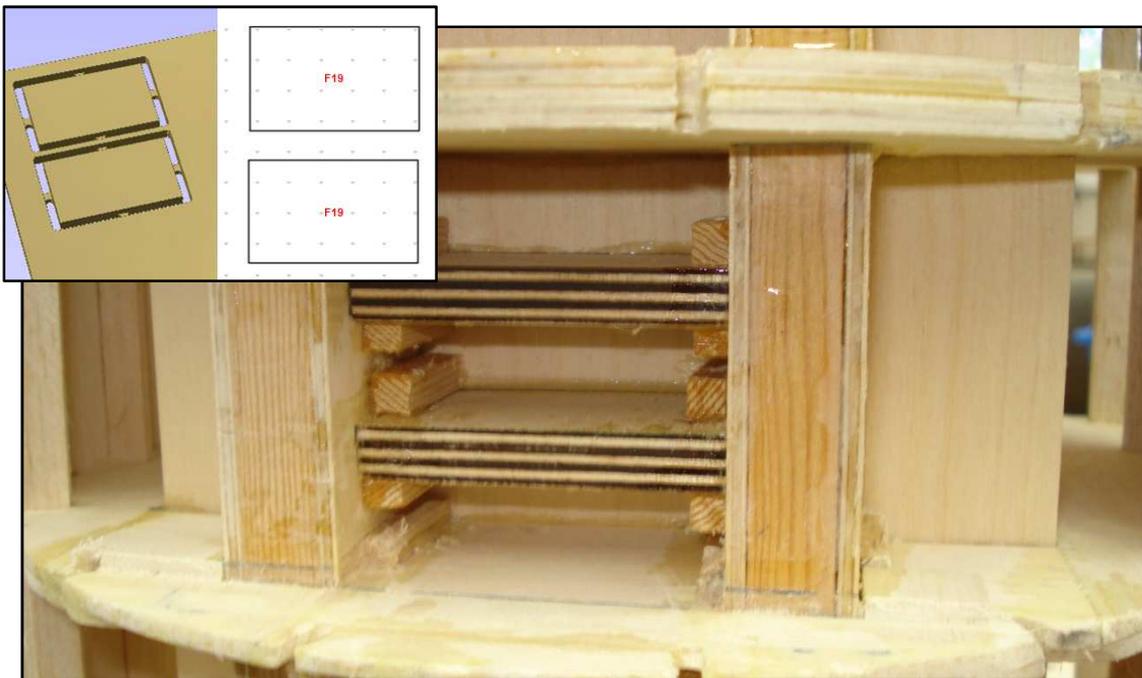


Imagen 6.104 (superior): Plantilla de corte 1 de Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

Imagen 6.105: Montaje de las piezas F19 bajo el suelo del Fuselaje Central. Fuente: Elaboración propia

- **Corte de la madera de contrachapado de espesor 3/8"**

Parámetros de corte de las plantillas **generadas** para los módulos de Fuselaje (Fuselaje de Morro y Fuselaje Central), grupo alar, superficies de control y estabilizadores.

- Fresa $\Phi 3$ mm
- Espesor de penetración: 9.525 mm en cuatro pasadas de 2.4 mm cada una (este procedimiento de corte no es el adecuado, no obstante por las características de la fresa que se tiene, se ha establecido así. La mejor opción sería hacer dos – tres pasadas con una fresa de 3 mm pero que no tuviera el estrechamiento que presentan las que empleamos al terminar el mango y comenzar el filo de corte).
- Velocidad de avance: 5 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las Imágenes 6.106 – 6.107 muestran las plantillas elaboradas con VCarve Pro para la madera de contrachapado de espesor 3/8”.

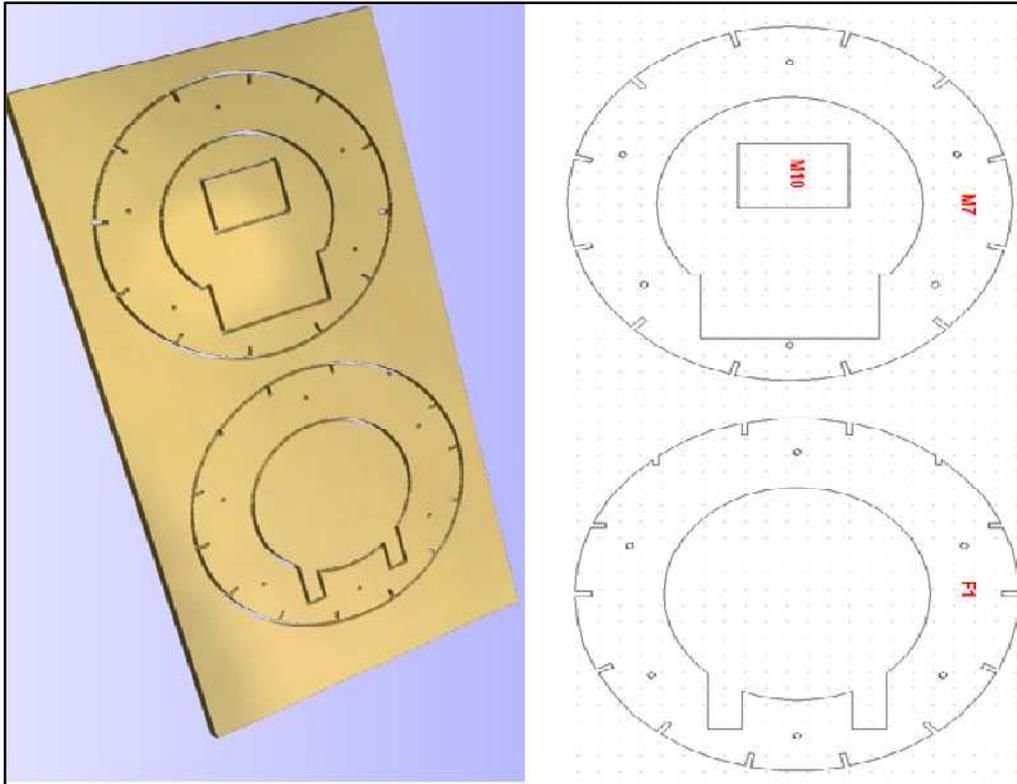


Imagen 6.106: Plantilla de corte 1 del Morro y Fuselaje Central.
Fuente: VCarve Pro

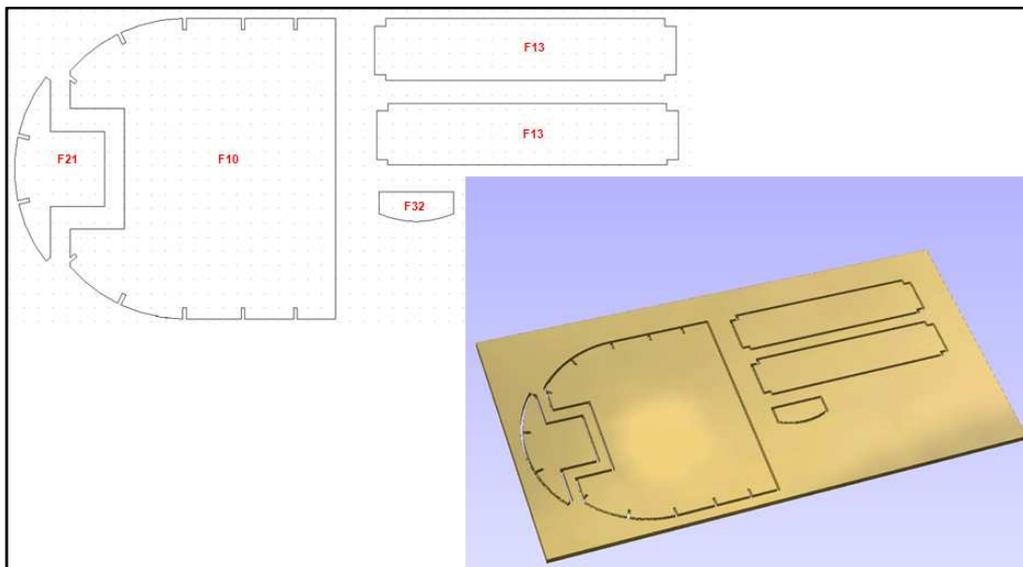


Imagen 6.107: Plantilla de corte 1 de Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

Observaciones:

- Espesor de penetración: 9.525 mm en tres pasadas de 3.175 mm cada una. En esta última plantilla se ha optado por esta forma de corte, que se señalaba como la más adecuada en la introducción de los parámetros de corte para el contrachapado de 3/8".
- **Corte de la madera de contrachapado de espesor 1/2"**

Parámetros de corte de las plantillas generadas para los módulos de fuselaje (Fuselaje de Morro y Fuselaje Central), grupo alar, superficies de control y estabilizadores.

- Fresa $\Phi 4$ mm
- Espesor de penetración: 12.7 mm en cuatro pasadas de 3.175 mm cada una.
- Velocidad de avance: 5 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.108 – 6.109 muestran, respectivamente, las plantillas obtenidas con VCarve Pro para la madera de contrachapado de espesor 1/2" y una fotografía tomada durante el proceso de construcción.

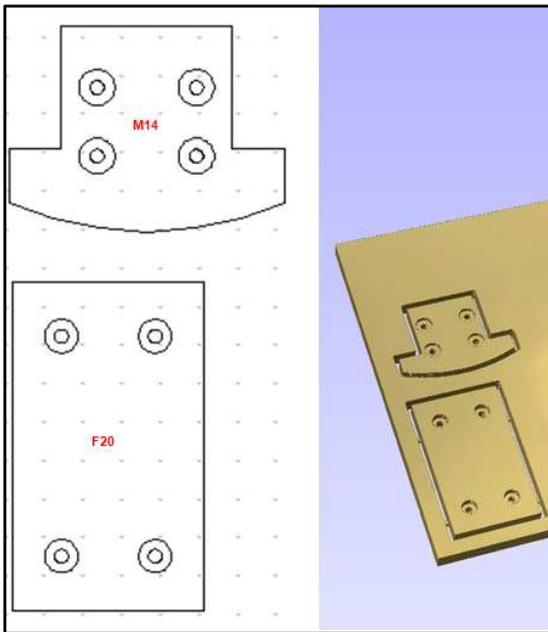


Imagen 6.108 (izquierda): Plantilla de corte 1 de Morro y Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

Imagen 6.109 (derecha): Pieza M14 montada en el morro (el redondeo en su parte superior ha sido introducido en una revisión de mejora del diseño a posteriori). Fuente: Elaboración propia

- **Corte de la madera de contrachapado de espesor 5 mm**

Parámetros de corte de las plantillas generadas para los módulos de fuselaje (Fuselaje de Morro y Fuselaje Central), grupo alar, superficies de control y estabilizadores.

- Fresa $\Phi 3$ mm
- Espesor de penetración: 5 mm en dos pasadas de 2.5 mm cada una.
- Velocidad de avance: 5 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.110 – 6.111 muestran, respectivamente, las plantillas creadas con VCarve Pro para madera de contrachapado de espesor 5 mm y una fotografía tomada durante el proceso de corte.

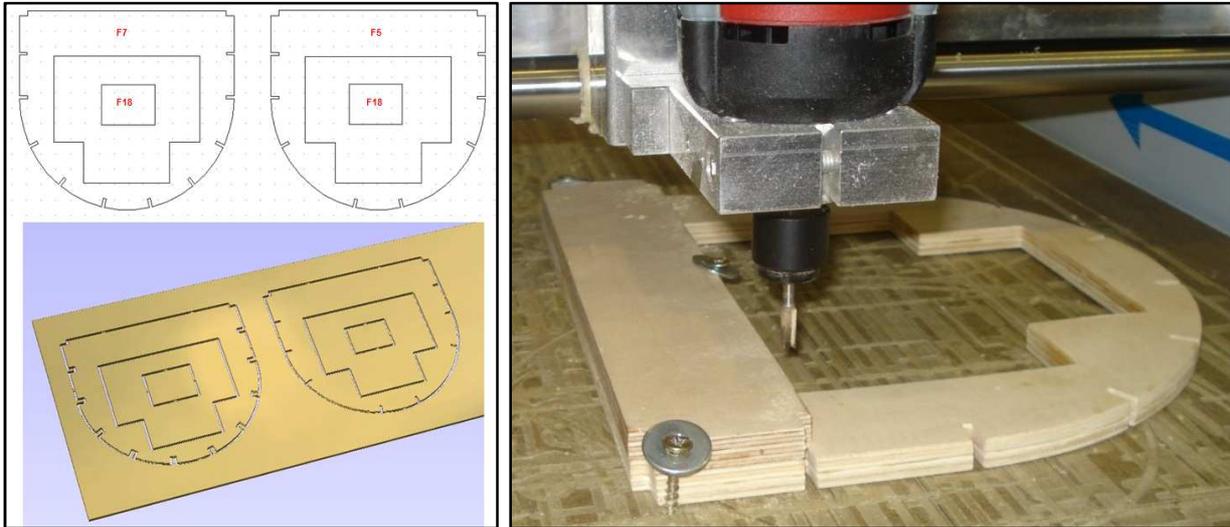


Imagen 6.110: Plantilla de corte 1 de Morro y Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

Imagen 6.111: Pieza F7 con el refuerzo F13 ya colocado en su parte superior. Fuente: Elaboración propia

- **Corte de la madera de pino de espesor 1/2"**

Parámetros de corte de las plantillas generadas para los módulos de fuselaje (Fuselaje de Morro y Fuselaje Central), grupo alar, superficies de control y estabilizadores.

- Fresa $\Phi 6$ mm
- Espesor de penetración: 12.7 mm en tres pasadas de 4.3 mm cada una. Velocidad de avance: 15 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.112 – 6.113 presentan las plantillas obtenidas con VCarve Pro para la madera de pino de espesor 1/2".

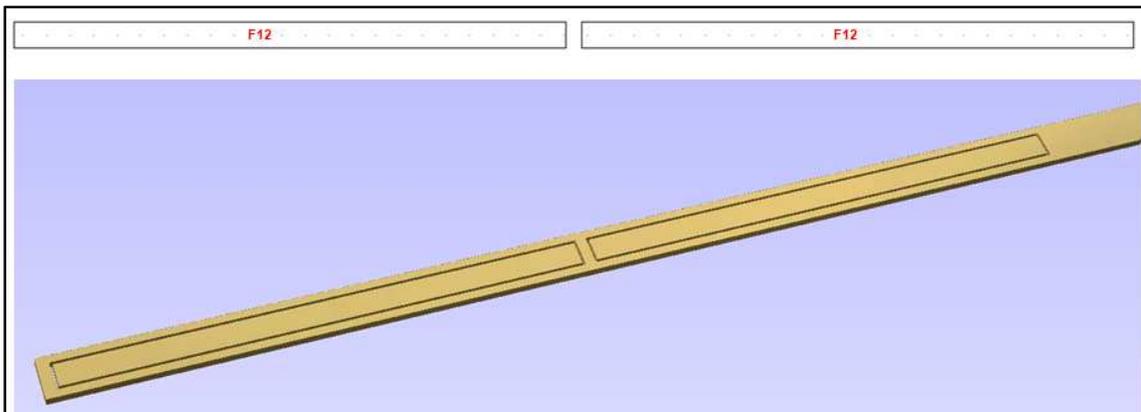


Imagen 6.112: Plantilla de corte 1 de Fuselaje Central. Fuente: VCarve Pro

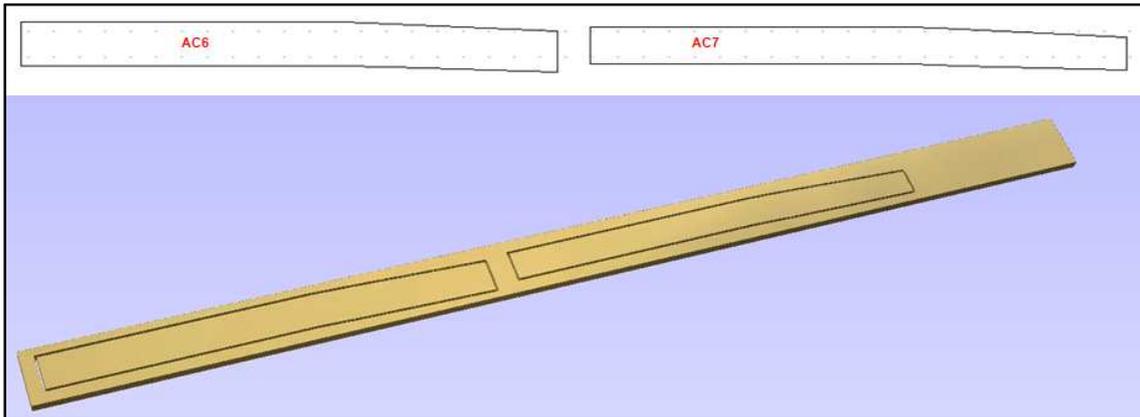


Imagen 6.113: Plantilla de corte 1 de Ala Central. Fuente: VCarve Pro

Observaciones:

- Nótese que las piezas AC6, mostradas en la imagen 6.113, tienen una desviación en uno de sus extremos. Dicha desviación obedece a los 2º de diedro que tiene el ala del UAV.
 - **Corte de plancha de Aluminio para montaje del Motor**⁵
- Placa de montaje de Motor:

Parámetros de corte empleados:

- Fresa $\Phi 6$ mm de $z = 2$ Garant
- Espesor de penetración: La placa tiene un espesor de 6.5 mm, así que se cortará en 3 pasadas de 2.2 mm cada una.
- Velocidad de avance: Anteriormente se apuntó que un valor orientativo ronda los 150 mm/min, pero se va a aumentar este valor ligeramente a 210 mm/min, es decir, 3.5 mm/s.
- Revoluciones del motor de fresado: 18000 rpm

Pese a que se han propuesto fórmulas y tablas para obtener información sobre los valores adecuados de velocidad para mecanizar Aluminio, es muy importante tener siempre presente que, no es posible indicar velocidades exactas, y que la calidad del trabajo y el rendimiento dependen de numerosos factores interdependientes:

- Velocidad de avance, tipo de herramienta, etc.
- Material, espeso, etc.
- Amarre de la pieza, vibraciones, rigidez de la máquina, etc.

Las imágenes siguientes muestran instantáneas del proceso de corte (imagen 6.114) y del resultado del mismo (imagen 6.115).

⁵ Este epígrafe está basado en

[43] <<http://www.scribd.com/doc/6375263/Listado-de-Fresas-y-herramientas-para-mecanizado-CNC-con-fresadoras>>
Ver además las referencias indicadas a pie de página en el inicio del epígrafe 3. *Antecedentes*



Imagen 6.114 (izquierda): Proceso de corte de la placa de cogida de motor / Imagen 6.115 (derecha): Placa ya cortada.
Fuente: Elaboración propia

- **Corte de bloque de nylon para sujeción del tren de morro**

Para preparar esta pieza se ha empleado la máquina de CNC para realizar el agujero que aloja la pata de Morro, mientras que para ejecutar los taladros que fijan este bloque a la estructura de Morro, un total de cuatro, dispuestos en las esquinas, se ha hecho uso del taladro de banco con una broca de 5 mm. Los parámetros de corte empleados para el agujero central son:

- Broca de al menos $\Phi 6$ mm.
- Espesor de penetración: El bloque tiene un espesor de 50 mm y hay que hacer un agujero de 20 mm de diámetro \rightarrow 25 pasadas de 2 mm cada una.
- Velocidad de avance: 5 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 18000 rpm

Las imágenes 6.116 y 6.117 muestran instantáneas tomadas durante esta parte del proceso de fabricación y de integración de este componente.



Imagen 6.116 (izquierda): Proceso de corte del bloque de sujeción del tren auxiliar / Imagen 6.117 (derecha): Bloque de nylon para cogida de tren auxiliar terminado e integrado en la estructura de Morro. Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Elementos para facilitar el proceso de construcción: utillajes

- Corte de la madera de pino para utillajes

Utillaje 1. Morro y Fuselaje Central

Parámetros de corte de la plantilla de utillaje generada para el módulo de Fuselaje (Fuselaje de Morro y Fuselaje Central).

- Fresa $\Phi 6$ mm
- Espesor de penetración: Las piezas con forma de "L" requieren primero una operación de vaciado o cajeado, es decir, rebajar 5.6 mm el espesor de la placa, que es de 18.45 mm. Una vez alcanzado el espesor deseado, de 12.85 mm, se corta el perfil de esta "L", realizando tres pasadas de 4.2 mm cada una. Las piezas intermedias se cortan en 4 pasadas de 4.6 mm cada una.
- Velocidad de avance: 15 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.118 – 6.121 presentan ilustraciones del trabajo realizado con VCarve y algunas fotografías tomadas durante el proceso de fabricación y construcción.

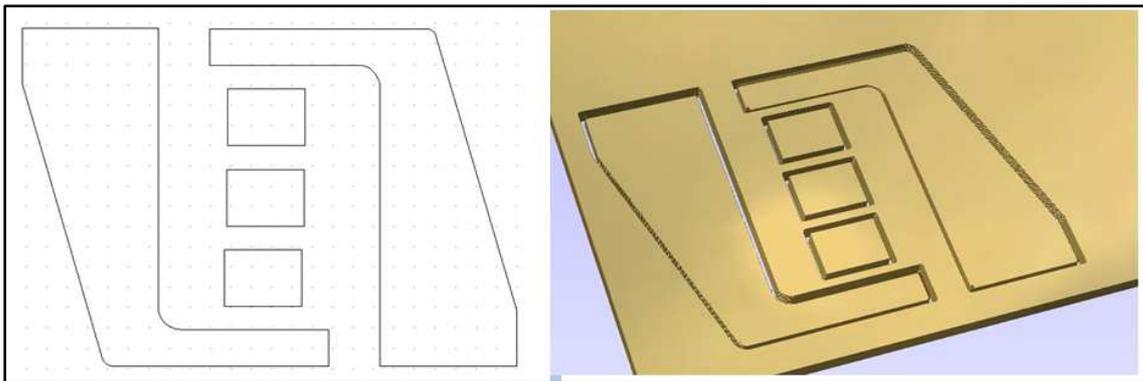


Imagen 6.118: Plantilla de corte 1 del Utillaje de Morro y Fuselaje. Fuente: VCarve Pro

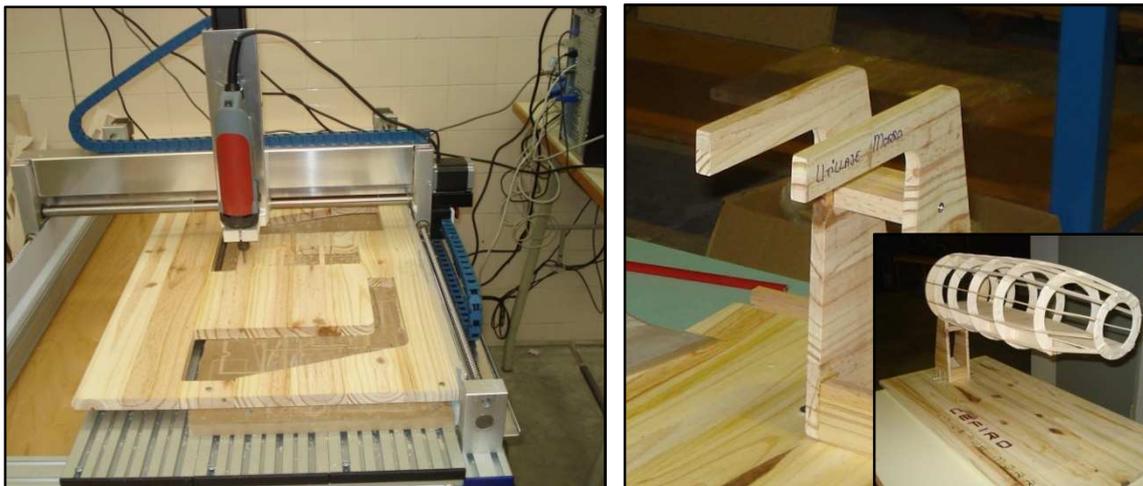


Imagen 6.119 (izquierda): Utillaje de morro cortado con CNC / Imagen 6.120 (derecha): Utillaje de morro montado / Imagen 6.121 (detalle en la esquina imagen derecha): Estructura de morro colocada en utillaje.
Fuente: Elaboración propia

Uillaje 2. Extremo de Ala

Parámetros de corte de las plantillas de utillaje generadas para los módulos de Extremos de Ala.

- Plantilla 1 Extremo de Ala: Corte de la estructura de montaje del Extremo de Ala.
 - Fresa $\Phi 6$ mm
 - Espesor de penetración: 19 mm a rebajar en cuatro pasadas de 4.75 mm cada una.
 - Velocidad de avance: 15 mm/s
 - Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.122 – 6.123 muestran, respectivamente, ilustraciones del trabajo realizado con VCarve y una fotografía tomada durante el proceso de construcción.

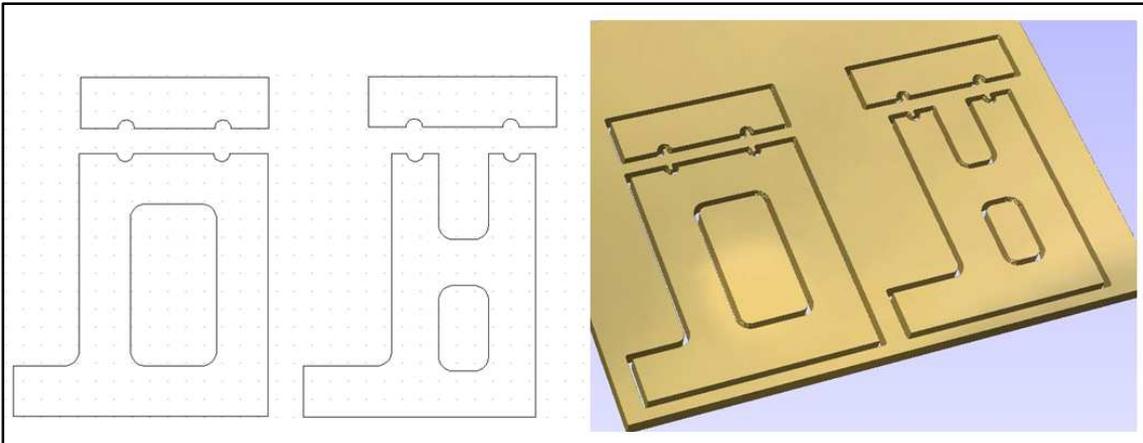


Imagen 6.122: Plantilla de corte 1 del Uillaje del Extremo de Ala. Fuente: VCarve Pro

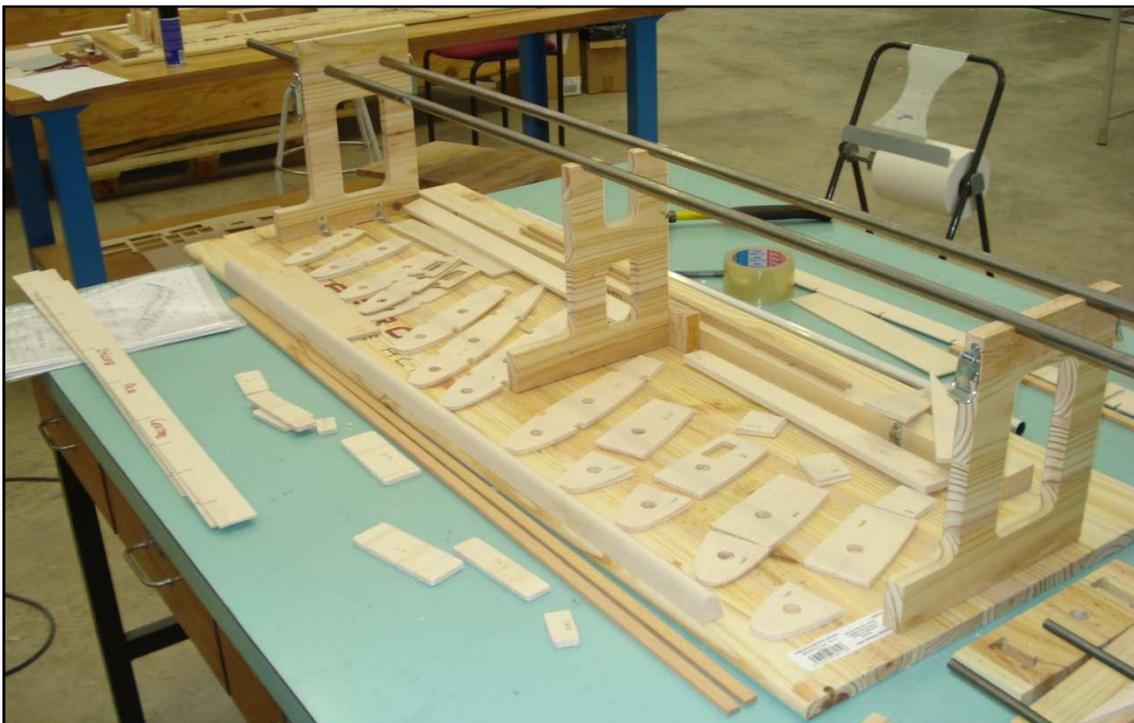


Imagen 6.123: Proceso de montaje del Extremo de Ala. Fuente: VCarve Pro

- Plantillas 2 y 3 Extremo de Ala: Corte de las estructuras de montaje del Extremo de Ala.
 - Fresa $\Phi 6$ mm
 - Espesor de penetración: La plantilla 2 se cortó para una tabla de pino de espesor 19 mm en cinco pasadas de 3.8 mm cada una. La plantilla 3 requirió un vaciado de 4.5 mm sobre un espesor de partida de 17.2 mm, y posteriormente se cortaron los perfiles en dos pasadas de 4.1 mm cada una.
 - Velocidad de avance: 15 mm/s
 - Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.124 – 6.127 muestran ilustraciones del trabajo realizado con VCarve y fotografías tomadas durante el proceso de construcción.

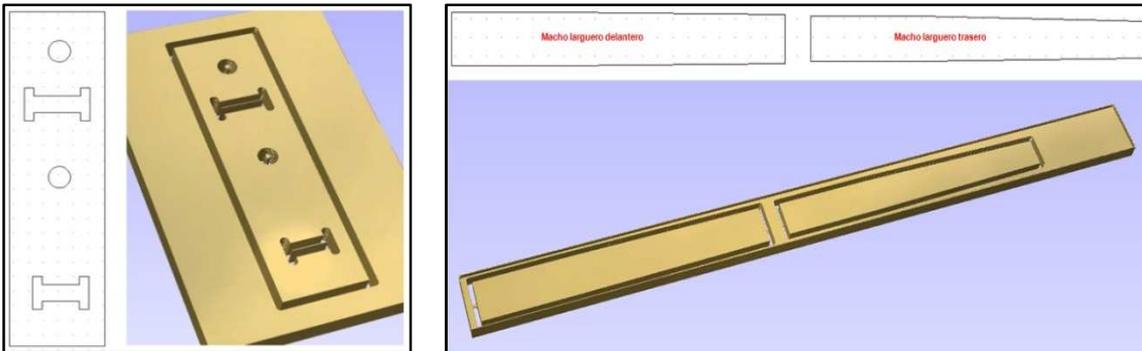


Imagen 6.124 (izquierda): Plantilla de corte 2 del Utilaje del Extremo de Ala / Imagen 6.125 (derecha): Plantilla de corte 3 del Utilaje del Extremo de Ala. Fuente: VCarve Pro



Imagen 6.126 (izquierda): Estructura de montaje del Extremo de Ala / Imagen 6.127 (derecha): Proceso de montaje del Extremo de Ala. Fuente: Elaboración propia

Utilaje 3. Ala Central

Parámetros de corte de las plantillas de utilaje generadas para el módulo de Ala Central.

- Plantilla 1 Ala Central: Corte de la estructura de montaje del Ala Central.

Parámetros de corte de esta plantilla:

- Fresa $\Phi 6$ mm

- Espesor de penetración: 18.14 mm rebajados en cuatro pasadas de 4.53 mm cada una.
- Velocidad de avance: 15 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.128 – 6.131 muestran, respectivamente, ilustraciones del trabajo realizado con VCarve y una fotografía tomada durante el proceso de construcción.

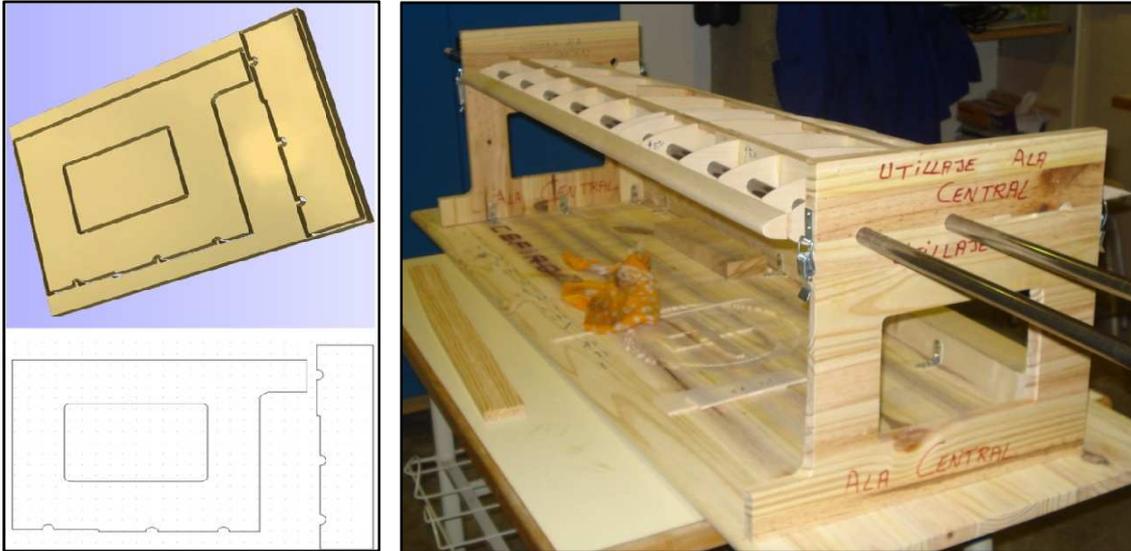


Imagen 6.128 (izquierda): Plantilla 1 Ala Central. Fuente: VCarve Pro

Imagen 6.129 (derecha): Proceso de montaje del Ala Central. Fuente: Elaboración propia

- Plantilla 2 Ala Central: Corte de la estructura de montaje del Ala Central.

Parámetros de corte de esta plantilla:

- Fresa $\Phi 6$ mm
- Espesor de penetración: 19 mm rebajados en cinco pasadas de 3.8 mm cada una.
- Velocidad de avance: 15 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.130 – 6.132 muestran, respectivamente, ilustraciones del trabajo realizado con VCarve y una fotografía tomada durante el proceso de construcción.

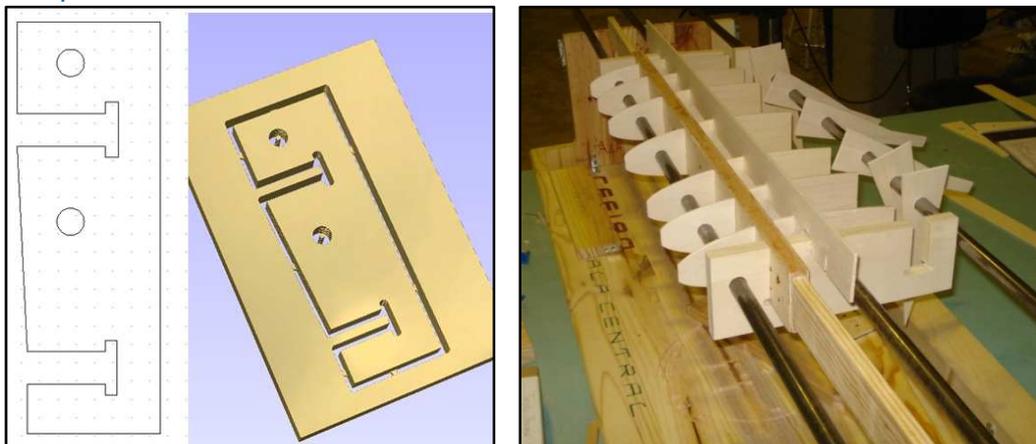


Imagen 6.130: Plantilla de corte 2 del Ala Central. Fuente: VCarve Pro

Imagen 6.131: Extremo de Ala montado sobre el utillaje de Ala Central. Fuente: Elaboración propia

Utillaje 4. Estabilizador Horizontal

Parámetros de corte de la plantilla de utillaje generada para el módulo de Estabilizador Horizontal.

- Plantilla 1 Estabilizador Horizontal: Corte de la estructura de montaje del Estabilizador Horizontal.

Parámetros de corte de esta plantilla:

- Fresa $\Phi 6$ mm
- Espesor de penetración: 19 mm rebajados en cinco pasadas de 3.8 mm cada una.
- Velocidad de avance: 15 mm/s
- Revoluciones del motor de fresado: 21000 rpm

Las imágenes 6.132 – 6.133 muestran, respectivamente, ilustraciones del trabajo realizado con VCarve y una fotografía tomada durante el proceso de construcción.

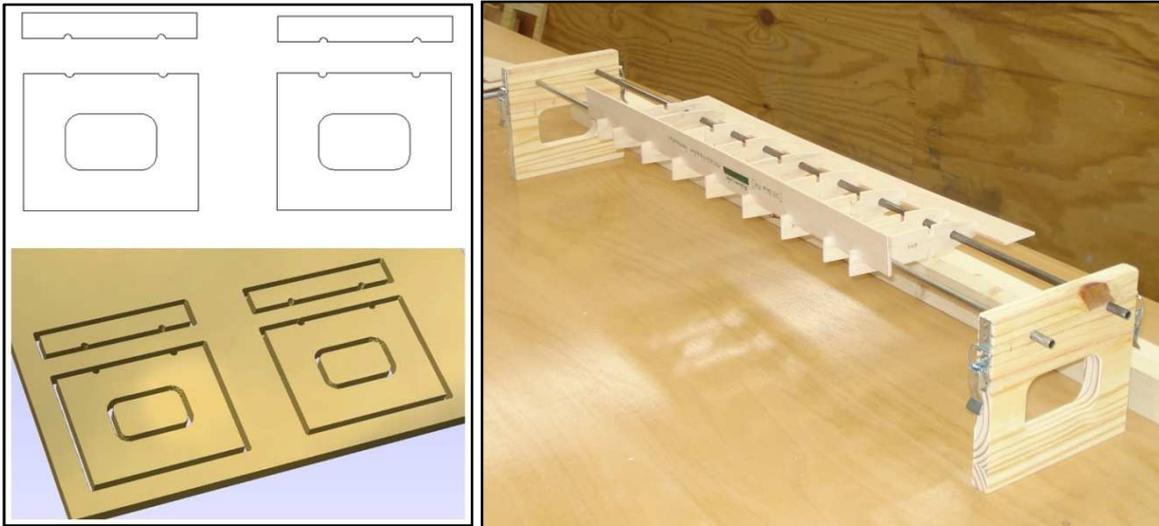


Imagen 6.132 (izquierda): Plantilla de corte 1 Estabilizador Horizontal. Fuente: VCarve Pro

Imagen 6.133 (derecha): Proceso de montaje del Estabilizador Horizontal. Fuente: Elaboración propia.

Para **concluir** este epígrafe, se introducen otros constituyentes del avión, que no se han fabricado mediante control numérico. No obstante, estos componentes, que son el cono de morro, los bordes marginales de las alas, los bordes de ataque y las piezas de acero que se sueldan al cilindro de agarre de los tubos de cola, se incluyen aquí por la necesidad de ser **documentados**. Para **los tres primeros elementos**, la técnica a seguir es muy similar: se parte de un macizo de madera de balsa (bloques de balsa para los dos primeros elementos y listones con forma elíptica para bordes de ataque, imágenes 6.134 y 6.135 respectivamente) y mediante lija (en formato papel y con soporte manual) se da la forma deseada. **Esto último** puede observarse en las imágenes 6.136 – 6.139.

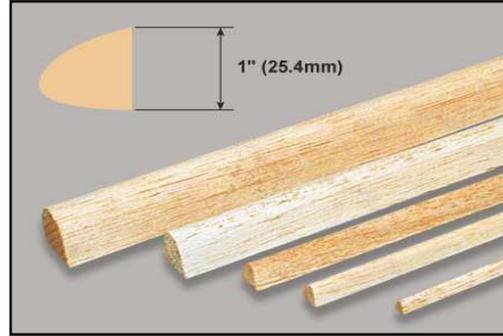
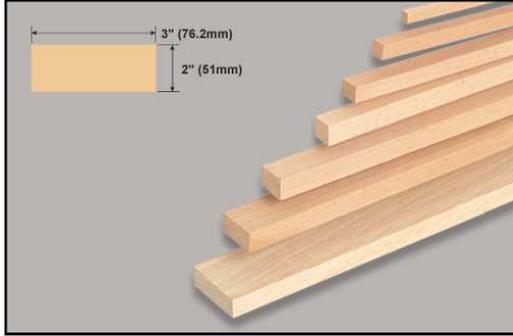


Imagen 6.134 (izquierda): Bloques de balsa / Imagen 6.135 (derecha): Borde de ataque en madera de balsa.
Fuente: <www.ripmax.com>

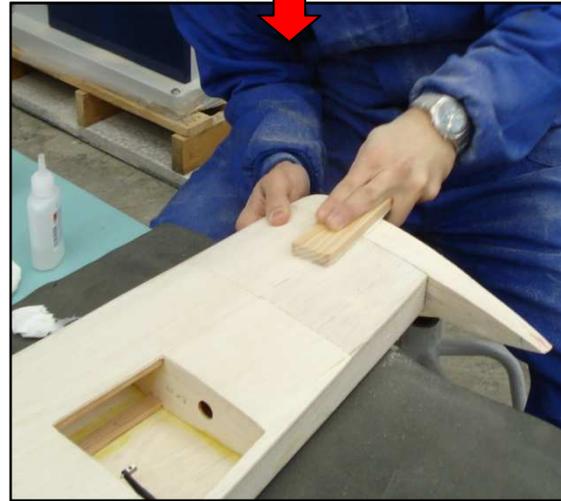
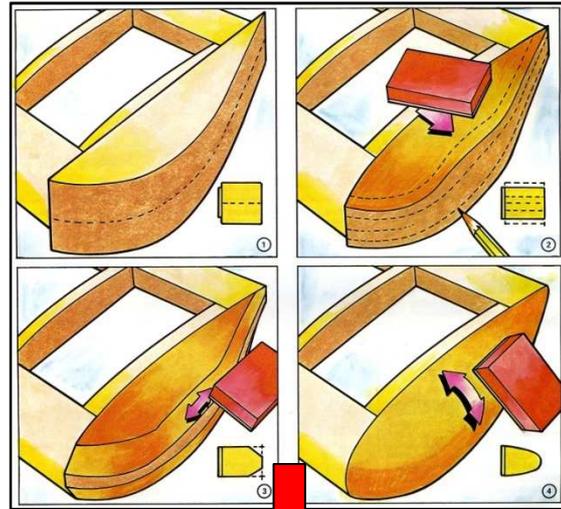
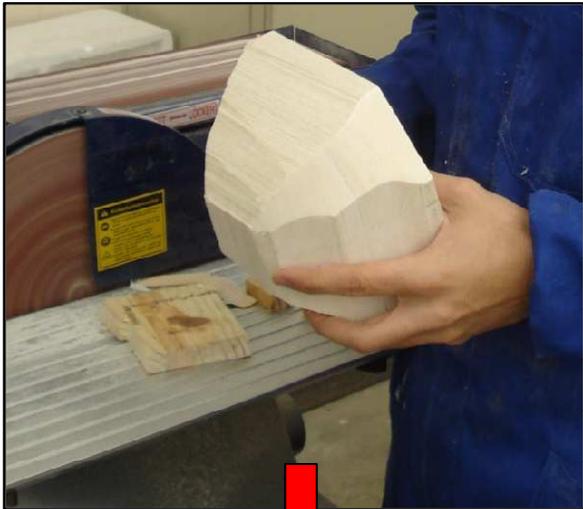


Imagen 6.136 (superior izquierda): Elaboración del cono de Morro en madera de balsa. Fuente: Elaboración propia
Imagen 6.137 (inferior izquierda): Cono de morro colocado en la proa de Morro. Fuente: Elaboración propia
Imagen 6.138 (superior derecha): Proceso de elaboración de los bordes marginales de Ala. Fuente: [12]
Imagen 6.139 (inferior derecha): Proceso de elaboración en el laboratorio de los bordes marginales. Fuente: Elaboración propia

Para obtener el componente EH 7, primero se corta el mismo en madera de contrachapado de 3,175 mm, y se copia la silueta con un rotulador de alcohol sobre la chapa de acero galvanizado de 1 mm de espesor. Luego, con la máquina de cinta de sierra metálica se corta de forma aproximada y posteriormente se rebajan los bordes, usando una radial con discos de amolar, para obtener un contorno más preciso (ver imágenes 6.140 – 6.141). Finalmente, para abrir el agujero interior, se emplea el taladro de banco con una broca especial.

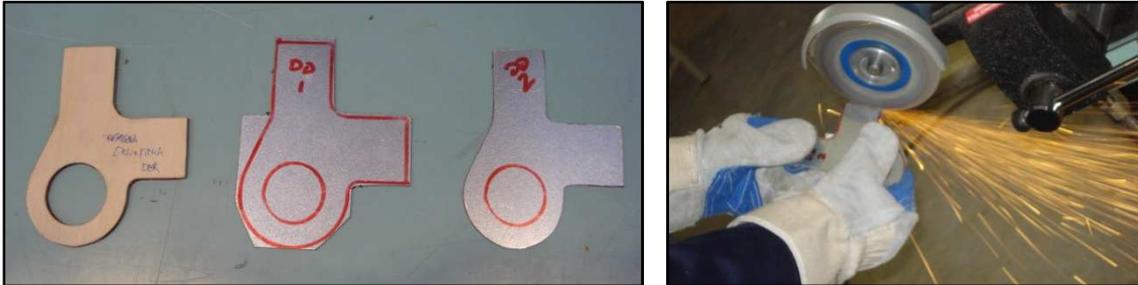


Imagen 6.140: Componente EH 7 / Imagen 6.141: Proceso de acabado del componente EH 7. Fuente: Elaboración propia

7. Componentes del UAV⁵

En este punto se recogen todos los elementos que de una forma u otra se han visto involucrados en la construcción de este primer prototipo. La información se ha estructurado en dos grandes grupos: por un lado los elementos propios del UAV y por otro, los elementos asociados a los primeros. El objetivo de esta sección es definir la funcionalidad básica de los mismos de forma separada, para posteriormente, en el epígrafe 8 analizar su integración en la aeronave.

7.1 Elementos propios del UAV

En este punto se presenta una información detallada de cada uno de los elementos que físicamente forman parte del UAV, ya sea de su estructura o bien porque están embarcados en él. Dicha información se agrupa en las siguientes secciones:

1. Planta de potencia
 - a) Motor Thor 45 y módulo de ignición electrónica (módulo CDI)
 - b) Bujías para el modelo Thor 45
 - c) Batería de 4.8V a 2200mAh

2. Sistema de combustible
 - a) Tanque de combustible de 950 cc³
 - b) Conducciones de combustible
 - c) Clips de acero para asegurar conexiones de combustible
 - d) Válvulas de paso
 - e) Filtro
 - f) Adaptación para entrada de combustible al tanque

3. Hélice
 - a) Hélice 22x18 para configuración *pusher*

4. Sistema de comunicaciones
 - a) Receptor Futaba de 9 canales
 - b) Regulador de tensión
 - c) Interruptor de encendido
 - d) Duo Batt

5. Servos y Conectores
 - a) Servos digitales
 - b) Accesorios para servos

6. Baterías
 - a) Batería de LiPo de 7.4 v a 2000 mAh

⁵ Este epígrafe está basado en

[4] <www.ripmax.com>

[12] Andrés Aylagas, et al. "Aeromodelismo y radiocontrol. Enciclopedia Práctica". Hobby Press, S.A. Madrid 1984

[33] Manual de uso de baterías de polímero de Litio, por <www.RCmaterial.com>

- b) Batería de Lipo de 7.4 v a 2200 mAh
 - c) Batería de 4.8 v a 2200 mAh (ver la entrada correspondiente en la sección de Planta de potencia)
7. Tornillería y otras uniones
- a) Tornillos, tuercas y arandelas
8. Elementos de transmisión
- a) Escuadras de mando
 - b) Conexión varilla de mando con el brazo de servo
 - c) Terminales de conexión para varillas de mando
 - d) Acoples entre varillas de mando y terminales de conexión
 - e) Conexión varillas de mando – escuadras de mando
 - f) Varillas de mando
 - g) Bisagras para las superficies de control
9. Tren de aterrizaje
- a) Tren delantero
 - b) Tren principal
 - c) Ruedas
10. Tubos de cola
11. Recubrimientos y adhesivos

Seguidamente se presenta una descripción de los elementos anteriores:

1. Planta de potencia

El sistema de planta de potencia que se ha instalado en esta aeronave cuenta con los siguientes componentes:

a) *Motor Thor 45 y módulo de ignición electrónica (módulo CDI)*

En aeromodelos similares al que trata este proyecto, es habitual emplear motores de combustión interna de dos tiempos, de dos tipos: *spark-ignition engines* y *compression ignition engines* (motores diesel). El primer tipo emplea bujías (*spark plugs*) para el inicio de la combustión, mientras que el segundo comprime una masa de aire e inyecta el combustible en una mezcla de aire caliente, lo que da pie a la ignición. Este motor es de la primera clase, y sus especificaciones se exponen aquí debajo.



- Cilindrada: 45 cc³
- Carrera: 31 mm
- Revoluciones de motor: 1600 – 7800 rpm
- Máxima potencia de salida: 4.2 Hp
- Peso (sin escape): 1650 gr
- Tipo de ignición: DC-CDI (electrónica)
- Fuente de energía para la ignición: Batería de 6 v DC a 2200 mAh
- Combustible requerido: Mezcla de aceite – gasolina de 95 octanos

Imagen 7.1: Motor THOR 45. Fuente: [4]

El dispositivo para la ignición electrónica (módulo CDI) (imagen 7.2) tiene dos entradas y una salida. Las **entradas** son las señales de batería (alimentación) y de sensor de indicación del momento exacto de encendido de la bujía, mientras que la salida, es el latiguillo de masa necesario para la ignición (chispa en la bujía).



Imagen 7.2: Módulo de ignición electrónica. Fuente: Elaboración propia

Nota: Obsérvese en la imagen 7.2 cómo la pegatina del módulo CDI está mal colocada de fábrica. Situaciones como esta recuerdan que siempre es importante revisar todos los equipos antes de integrarlos en la aeronave.

b) Bujías para el modelo Thor 45

La bujía es el medio por el cual se provoca el encendido de la mezcla aire-combustible. Las que habitualmente se usan en aeromodelos son de dos tipos: de incandescencia (*glow plug*) y de chispa (*spark plug*). Para el motor Thor 45 (imagen 7.3) se requieren las de chispa, llamadas así porque contienen dos electrodos separados entre los que se hace saltar una chispa durante la ignición. Además, son bujías de cuello largo, adecuadas para motores de culata grande y gruesa como el Thor 45.

c) Batería de 4.8 v a 2200 mAh

Para el inicio de la combustión se calienta la bujía empleando la energía almacenada en unas baterías con capacidad suficiente. La batería seleccionada es recargable, de Níquel e Hidruro Metálico (NiMh) (imagen 7.4), y las dos características más importantes que tiene son:

- Suministra 4.8 v (un solo elemento de NiMh suministra 1.2 v, luego esta batería es un pack de 4 celdas conectadas en serie).
- Capacidad de 2200 mAh



Imagen 7.3 (izquierda): Bujía para motor THOR 45 / Imagen 7.4: Batería para encendido del motor.
Fuente: [4]

Nota: La selección de la batería necesaria para el arranque de motor se ha hecho conforme a las recomendaciones indicadas en las instrucciones de motor.

2. Sistema de combustible

El sistema de combustible que se ha dispuesto para esta aeronave está formado por los siguientes elementos:

a) *Tanque de combustible de 950 cc³*

El tanque de combustible ([imagen 7.5](#)) tendrá una capacidad para albergar 950cc. La capacidad seleccionada está dada por la autonomía de vuelo deseada, y los estudios realizados por el área de actuaciones [40] (siempre evidentemente con el condicionante del espacio de alojamiento disponible, y del peso que supone la cantidad de combustible cargada en el avión).

El depósito se situará lo más próximo posible al motor para evitar desequilibrios en vuelo, al inclinarse el modelo. Es recomendable que el nivel de combustible cuando el depósito esté lleno quede a la misma altura que el carburador, en caso contrario se pueden originar inundaciones o dificultades en la alimentación. Además, tanto el depósito como los tubos de alimentación se deben sujetar con firmeza, ya que si el depósito vibra se formarán espumas y aparecerán problemas de alimentación.

El tapón es sustituido por el conjunto de piezas que se muestran en la [imagen 7.11](#) donde aprecia que se dispone de tres conductos: uno de entrada de combustible procedente del repostaje en tierra, otro de salida de combustible hacia el carburador y un tercero que actúa de toma de aire ([más detalles sobre el montaje y funcionamiento en el epígrafe 8.1.5 Sistema de combustible](#)).



Imagen 7.5: Tanque de combustible. Fuente: [4]

b) *Conducciones de combustible*

Para las conexiones de alimentación de motor se hará uso de tubos flexibles de silicona que son resistentes a la corrosión que provoca la gasolina ([imagen 7.6](#)).

c) Clips de acero para asegurar conexiones de combustible

Abrazan las conducciones, asegurando que la línea de combustible no pueda salirse del montaje (imagen 7.7).

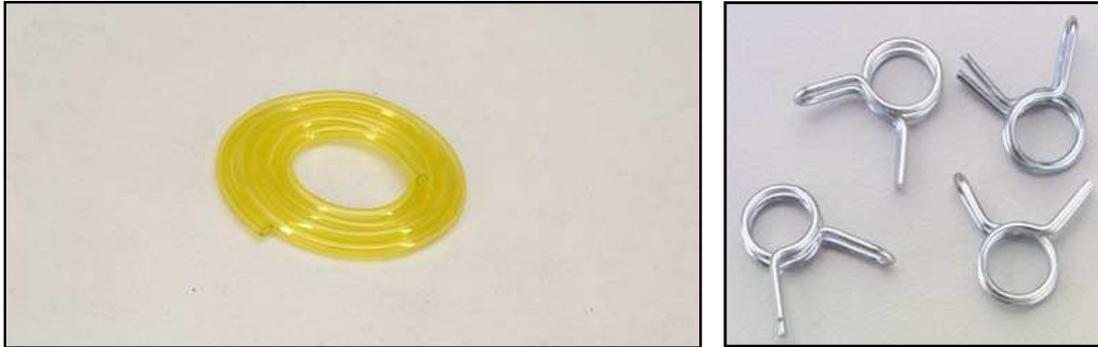


Imagen 7.6 (izquierda): Conducciones de silicona para gasolina / Imagen 7.7 (derecha): Clips para asegurar conexiones de la línea de combustible. Fuente: [4]

d) Válvula de paso

Esta válvula (imagen 7.8) se emplea como conexión entre tres líneas: la que viene del tanque de combustible del avión, la procedente del tanque de repostado en tierra, y la que viaja hacia el carburador.

El principio de funcionamiento consiste en que al conectar la pieza nº 1 en la base de la pieza nº 2, como se indica en la imagen 7.8, se abre el paso de combustible desde tanque en tierra – tanque del avión, bloqueándose la otra línea, la que viaja al motor. Tras llenar el tanque de abordaje, se quita la alimentación desde tierra, se desmonta la pieza plateada y se abre la línea de paso combustible tanque – carburador.

e) Filtro

Permite reducir la entrada de impurezas y suciedad dentro del motor a través del sistema de alimentación. Esta unidad (imagen 7.9) va colocada tras el tanque de combustible, previa entrada al carburador, inmediatamente después de la válvula anterior.

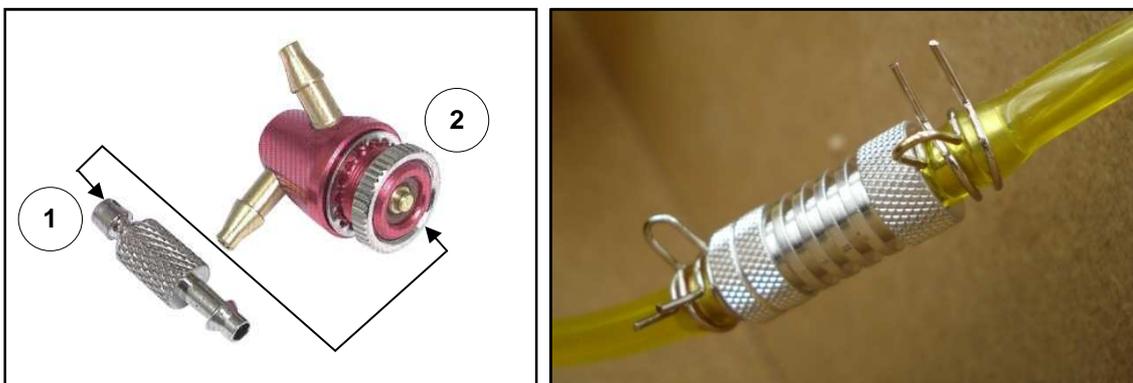


Imagen 7.8 (izquierda): Válvula de paso del sistema de combustible / Imagen 7.9 (derecha): Instalación del filtro. Fuente: [4]

f) *Adaptación para entrada de combustible al tanque*

Este conjunto de piezas se emplea como adaptación en la entrada del tanque de combustible. Se decidió emplear este montaje ya que el tapón de plástico que traen los depósitos es muy endeble y se **deteriora** con facilidad al conectar y desconectar continuamente el tubo de alimentación (imagen 7.10, **indicación en rojo**). En este caso el tapón costa de tres piezas: un cilindro de goma y dos discos de metal, que situados en los extremos del anterior lo presionan mediante un tornillo que atraviesa todo el conjunto haciendo que se ajuste a las paredes del cuello **de alimentación** del depósito, evitando así la pérdida de combustible o entrada de aire. Este tapón tiene además tres taladros por los que se pasan los tubos de latón (ver imagen 7.11) **cuyas funciones son:** alimentación del motor, llenado y toma de aire (para entender **mejor** la funcionalidad de este adaptador **examinar** la **imagen 8.42**)

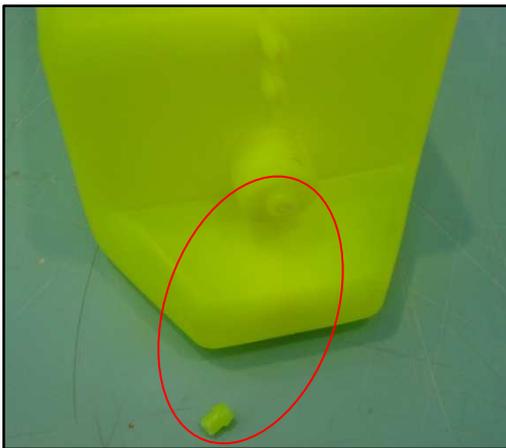


Imagen 7.10 (izquierda): Rotura de la boquilla de alimentación del tanque de combustible. Fuente: Elaboración propia
Imagen 7.11 (derecha): Adaptación para tanque de combustible. Fuente: [4]

3. Hélice

a) *Hélice 22x18 para configuración pusher*

Respecto al diámetro de la misma, se puede decir que cuanto mayor es la potencia de un motor más grande debe ser la hélice para poder absorberla. Asimismo, el diámetro y el paso han de venir “acompañados”, ya que una hélice grande y con paso pequeño hará que el motor gire bien, pero el vuelo será lento. Por el contrario, si esa misma hélice es más corta, el motor se acelerará demasiado y será necesario aumentar el paso para impedirlo. Con estas y otras **consideraciones analizadas en [40]** se deduce que la hélice a emplear, siendo adecuada para la configuración de planta motora del UAV Céfire, es decir, localizada en la parte trasera, tipo *pusher*, tiene una longitud punta – punta de 22” y paso 18. **Además, puesto que los impulsos de motor y la fuerza centrífuga son muy altos, la hélice a emplear se ha escogido en un material resistente: madera de haya.**



Imagen 7.12: Hélice de 22x18. Fuente: Elaboración propia

4. Sistema de comunicaciones

Este sistema cuenta con los siguientes componentes:

a) Receptor Futaba de 9 canales

Dispositivo receptor de la señal radiada por el transmisor. El receptor (imagen 7.14) con la antena correctamente desplegada, intercepta el campo magnético radiado por el transmisor, induciéndose en la misma una pequeña tensión que pone en circulación una corriente eléctrica también infinitesimal. En otras palabras, recibe la señal a través de la antena y la decodifica, enviando la orden correspondiente a cada usuario de los 9 canales de los que dispone el receptor. Otras características del receptor adquirido son: Dimensiones: 65 x 38x 25.5 mm; Peso: 55.7gr.

b) Regulador de tensión

Regula la tensión de salida de las baterías de Polímero de Litio a 8 v estables, y de esta manera protege a los servos y al receptor frente a una posible sobretensión. La finalidad de este componente (imagen 7.13) es proporcionar una tensión constante a su salida, disminuyendo la corriente para que el voltaje sea estable, es decir, para que el flujo de voltaje llegue al receptor sin irregularidades. Además cuando el voltaje de entrada cae por debajo de 8 v se apaga protegiendo la batería de descargas profundas que pueden dañarla. Este regulador de sobretensión cumple la función de supresor de picos, por lo tanto no es necesario emplear este último elemento de forma aislada.

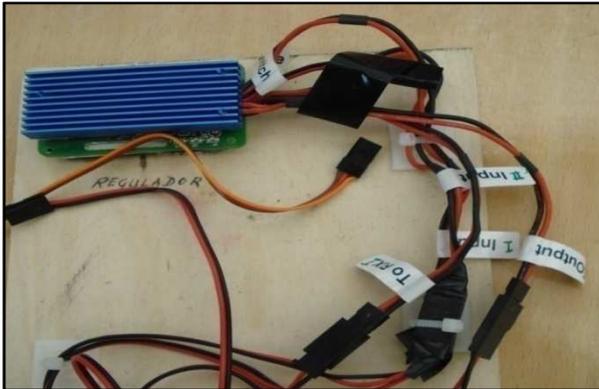


Imagen 7.13 (izquierda): Regulador de tensión. Fuente: Elaboración propia
Imagen 7.14 (derecha): Receptor Futaba de 9 canales. Fuente: [4]

c) Interruptor de encendido

Se tienen dos interruptores: uno que conecta la línea de alimentación de las baterías con el receptor y otro que conecta la alimentación (batería) de motor (consultar imagen 8.6).

d) Duo Batt

Con este dispositivo se pueden conectar las dos baterías de LiPo al receptor, pasando previamente por un dispositivo de gestión "inteligente" de las baterías (Multiplex Battery Safety Switch). No obstante este último elemento no se ha empleado finalmente, aunque el Duo Batt se ha dejado colocado porque facilita unas conexiones más cómodas (holgadas) en los canales del receptor, y también permite conectar las dos baterías.

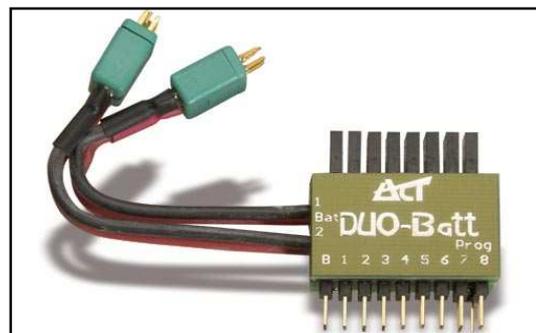


Imagen 7.15: Duo Batt. Fuente: [4]

5. Servos y conectores

El servomotor o servo, como se conoce vulgarmente, constituye el eslabón final de la cadena del sistema de radiocontrol. Su misión consiste en accionar, por medio de una transmisión mecánica, las superficies aerodinámicas de mando del avión, y también el tren delantero en este UAV, en función de los impulsos codificados recibidos desde el receptor.

Entre el servo y las superficies de mando se extiende un elemento de conexión, una *cadena cinemática* de transmisión de movimientos que debe tener tres rasgos fundamentales: poco peso, ninguna holgura y la suficiente rigidez para evitar flexiones y roturas.

Para ver cómo es transmitido el movimiento, se empieza por el origen del mismo: el servo. En éste, hay un brazo o un disco, al que se conecta un terminal que va unido a la varilla de transmisión que llega hasta la superficie de control, donde a su vez conecta con otro terminal igual o similar al primero. Estos terminales, que mediante un sistema de rosca, permiten variar la longitud total de la transmisión, se emplean en esta aeronave en dos formatos diferentes: por una parte se usan terminales de tipo *kwik links* (piezas en forma de horquilla, con un taladro roscado para su acople con las varillas de transmisión) y por otro rótulas de conexión.

En último lugar, montadas sobre las superficies de control se tienen unos elementos, que reciben la conexión de la transmisión, son las escuadras de mando, más conocidas por su denominación inglesa: *horns*.

Para entender con claridad la situación descrita en las líneas anteriores véanse las imágenes 7.26-7.41.

a) *Servos digitales*

a.1) Servo Digital S9451 (imagen 7.16): Servo digital con las siguientes especificaciones principales:

- Par: 8.7 Kg-cm
- Velocidad: 0.10s/60° (6.0 v)
- Dimensiones: 40 x 20 x 36.6 mm
- Peso: 56 gr

Estos servos, que disponen de un valor de par intermedio, se emplean para las deflexiones de las superficies de control de cola. En concreto, se emplean dos para mover el timón de profundidad y uno para cada timón de dirección.

a.2) Servo Digital S9650 (imagen 7.17): Servo digital con las siguientes especificaciones principales:

- Par: 4.5 Kg-cm
- Velocidad: 0.11s/60° (6.0 v)
- Dimensiones: 35.5 x 15 x 229 mm
- Peso: 26 gr

Este servo es el más pequeño de todos, y el que entrega menor par, por tanto se ubicará donde el esfuerzo que deba realizar sea pequeño, es decir, en la *actuación* de la palometa que rige la potencia de motor (*mediante esta palometa se controla la apertura de un disco giratorio que regula la entrada de combustible* del carburador).

a.3) Servo Digital S9351 (imagen 7.18): Servo digital con las siguientes especificaciones principales:

- Par: 13.8 Kg-cm
- Velocidad: 0.13s/60° (6.0 v)
- Dimensiones: 40 x 20 x 36.6 mm
- Peso: 61 gr

Estos servos, al disponer de un valor de par más elevado que los de la clase S9451, citada anteriormente, se emplean para la deflexión de las superficies de control de las alas, que son más grandes que las de cola. En concreto, se emplea uno para cada superficie.

a.4) Servo Digital S9156 (imagen 7.19): Servo digital con las siguientes especificaciones principales:

- Par: 24.5 Kg-cm
- Velocidad: 0.17s/60° (6.0 v)
- Dimensiones: 40 x 20 x 36.6 mm
- Peso: 63 gr

Este servo, por ser el de mayor par, es emplea para dotar de direccionalidad al tren auxiliar y vencer la fricción del mismo con el terreno.

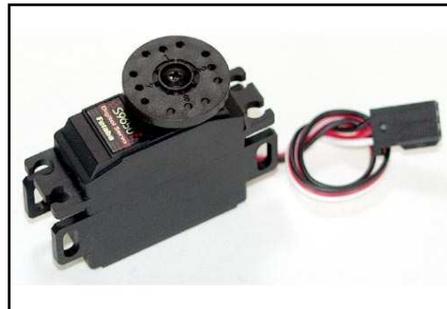


Imagen 7.16 (superior izquierda): Servo digital S9451 / Imagen 7.17 (superior derecha): Servo digital S9650 / Imagen 7.18 (inferior izquierda): Servo digital S9351 / Imagen 7.19 (inferior derecha): Servo digital S9156. Fuente: [10]

b) *Accesorios para servos*

b.1) Tacos de goma para la instalación de servos

En los puntos de anclaje del servo, se emplean estos tacos de goma atenuando el efecto de las vibraciones (imagen 7.20). En otros casos se emplean pequeños aros de goma colocados alrededor de los tornillos de anclaje del dispositivo, que se adjuntan al comprar el servo (imagen 7.21).

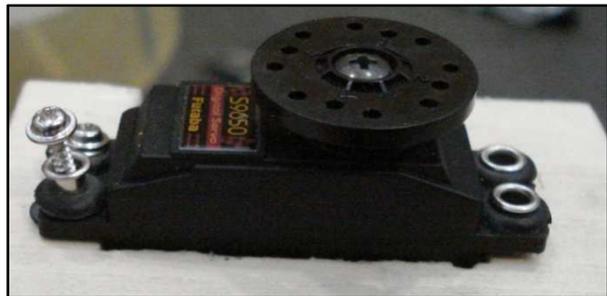


Imagen 7.20 (izquierda): Tacos de goma para la instalación de servos. Fuente: [4]

Imagen 7.21 (derecha): Aros de goma para instalación de servos. Fuente: Elaboración propia

b.2) *Brazos para servos*

Brazos donde se ubica la rótula de conexión o el *kwik link*. Existen gran cantidad de morfologías diferentes para estos elementos, aunque en este avión se han empleado sólo los de este tipo (imagen 7.22) y únicamente el que se ve en la imagen 7.21 anterior para el motor.

b.3) *Conectores simples (500mm/1000mm)*

Extensión de cable (longitudes adquiridas: 1 m y de 0.5 m) para el conexionado de servos, con dos conectores, uno macho y otro hembra (imagen 7.23). La necesidad de una u otra extensión de los conectores se establece en base al requerimiento de establecer enlaces entre servos y receptor.

b.3) *Conectores en Y (300mm)*

Extensión de cable para conexionado de servos con 30 cm de longitud, y dos conectores hembra y uno macho (imagen 7.24). Vulgarmente conocido como extensión en Y, se emplea para los servos de cola, permitiendo transmitir la señal de movimiento desde el receptor a las superficies de control de los timones de profundidad y dirección de forma simultánea (para más detalle véase la imagen 8.47).



Imagen 7.22 (izquierda): Brazos para servos / Imagen 7.23 (central): Conectores simples / Imagen 7.24 (derecha): Conectores en Y. Fuente: [4]

6. Baterías⁶

Las baterías recargables se encargan de la alimentación de los equipos de abordo. Tradicionalmente las baterías usadas en aeromodelos han sido de Níquel Cadmio pero en la actualidad las baterías de Polímero de Litio (LiPo) (que son las usadas en este UAV) se han impuesto por sus mayores prestaciones: tiempos de funcionamiento más largos y relación potencia-peso más elevada entre otras ventajas.

Otras baterías empleadas en este avión, son las de NiMh utilizadas para el encendido del motor (véase apartado c) de la sección1. Planta Motora).

Respecto a la elección de las baterías de LiPo se puede decir lo siguiente:

Para conseguir tiempos de funcionamiento largos y a la vez potencia, se requieren packs potentes y grandes. A mayor potencia y capacidad de los mismos, mejor funcionamiento de motor, mayor tiempo de trabajo. Consecuentemente la batería es un elemento esencial en el esquema de planta de potencia, y por tanto es muy importante elegir la batería idónea para cada uso específico.

Como norma general se debe montar la batería más grande y potente que sea posible, dentro de unos márgenes de peso razonables, no obstante, intentar ahorrar peso en baterías solo conduce a modelos escasos de potencia y con tiempos de funcionamiento cortos, además de afectar a la vida del pack, acortándola, debido a su utilización muy cerca de los límites.

a) *Batería de LiPo de 7.4 v a 2000 mAh*

Un elemento de Lipo da un voltaje de 3.7 v (lo que viene a ser equivalente a aproximadamente tres elementos de NiMh conectados en serie), y al conectar dos en serie obtenemos 7.4 v que es lo que entrega este paquete. Esta batería ([pack inferior de la imagen 7.25](#)) es capaz de descargar en continuo a 10 C (la unidad C tiene el valor 1/h), lo cual quiere decir que la Descarga Máxima Continua = $10 \cdot 2000 \text{ mAh} \cdot (1/h) = 20 \text{ Amperios}$. Otras características de esta batería son: Dimensiones: 35 x140 x14 mm; Peso: 116 gr.

b) *Batería de Lipo de 7.4 v a 2200 mAh*

Las mismas consideraciones expuestas para la batería anterior deben tenerse presentes para este pack ([elemento inferior de la imagen 7.25](#)), con la salvedad de que la Descarga Máxima Continua es de 22 A, y las dimensiones son más pequeñas.

⁶ Este apartado está basado en

Manual de uso de baterías de polímero de Litio, por <www.RCmaterial.com>



Imagen 7.25: Batería de LiPo de 2200mAh (parte superior de la imagen). Batería LiPo 2000mAh (parte inferior de la imagen). Fuente: Elaboración propia

7. Tornillería y otras uniones

En este punto se presentan los diferentes tipos de uniones que se montan en el Céfito:

a) *Tornillos, tuercas y arandelas* (para más detalle sobre estos elementos y su ubicación en el avión, consultar los epígrafes *10. Análisis de coste del UAV Céfito* y *13.7 ANEXO 7: Uniones*)

- Tornillo empleados:
 - Tornillos de diferente métrica: Métricas 3 y 4 mm (con distintas longitudes - consultar presupuesto-) con cabeza para llave Allen
 - Tornillos de métrica 5 mm con cabeza para destornillador de punta plana
 - Tornillos de métrica 5 mm con cabeza hexagonal
 - Tornillos de métrica 5 mm con cabeza para destornillador de punta de estrella.
 - Tornillos de métrica 5 mm con cabeza para llave Allen
- Tuercas empleadas (correspondientes a la métrica de los tornillos):
 - Tuercas de autobloqueo
 - Tuercas convencionales
 - Tuercas de clavar
- Arandelas empleadas (correspondientes a la métrica de los tornillos):
 - Arandelas convencionales
 - Arandelas grower

- Insertos roscados (correspondientes los tornillos de métrica 5):
- Alfileres en T (diferentes longitudes)
- Uniones por bridas (convencionales y de base adhesiva)
- Fijación mediante velcro
- Unión por presilla metálica

8. Elementos de transmisión

Como se ha comentado anteriormente la aeronave realiza las maniobras en vuelo gracias a la deflexión de sus superficies de control. Entre los servos y las superficies de mando hay unos elementos de conexión constituidos por un conjunto de piezas, las transmisiones. Ya en el apartado de servos y conectores se habló ligeramente sobre algunas de las piezas que forman parte de la transmisión. De este modo, se comentó la existencia de unos terminales (*kiwk links*) que enlazaban los brazos de los servos con las varillas de mando, generalmente, mediante un sistema de rosca. Además, se señaló la existencia de otros sistemas de conexión, como las rótulas y los pliegues en “Z”. También se citaron las escuadras de mando o *horns* localizadas en las superficies de control.

El agente intermedio entre los terminales y las escuadras de mando son las varillas de mando, que en este UAV son rígidas, de acero, aunque también es habitual que sean flexibles (estas son más usuales en aeromodelos de pequeño tamaño). En nuestro caso la transmisión es rígida y está formada por una varilla con dos extremos roscados para fijar las conexiones (*kiwk links*).

a) *Escuadras de mando*

Elemento fijado mediante cuatro uniones atornilladas a la superficie de control, que permite transmitir el movimiento de deflexión a la misma. Un esquema del montaje así como el resultado final del mismo se muestra en las imágenes 7.26 y 7.27 respectivamente.

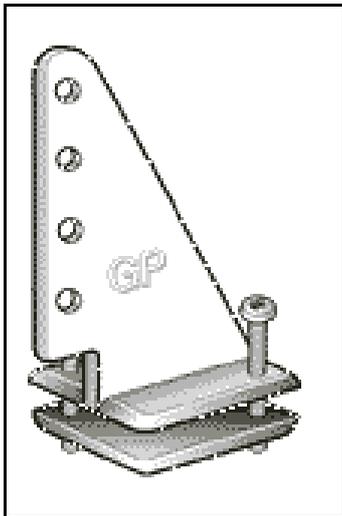


Imagen 7.26 (izquierda): Detalle de montaje de una escuadra de mando. Fuente: Elaboración propia.
Imagen 7.27 (derecha): Escuadra de mando de timón de profundidad. Fuente: [6]

b) Conexión varilla de mando con el brazo de servo

Fijación desmontable que permite enlazar las varillas de transmisión del movimiento con las extremidades de los servos. Los componentes, el modo de instalación de los mismos y el resultado final se aprecian en las imágenes 7.28-7.39.

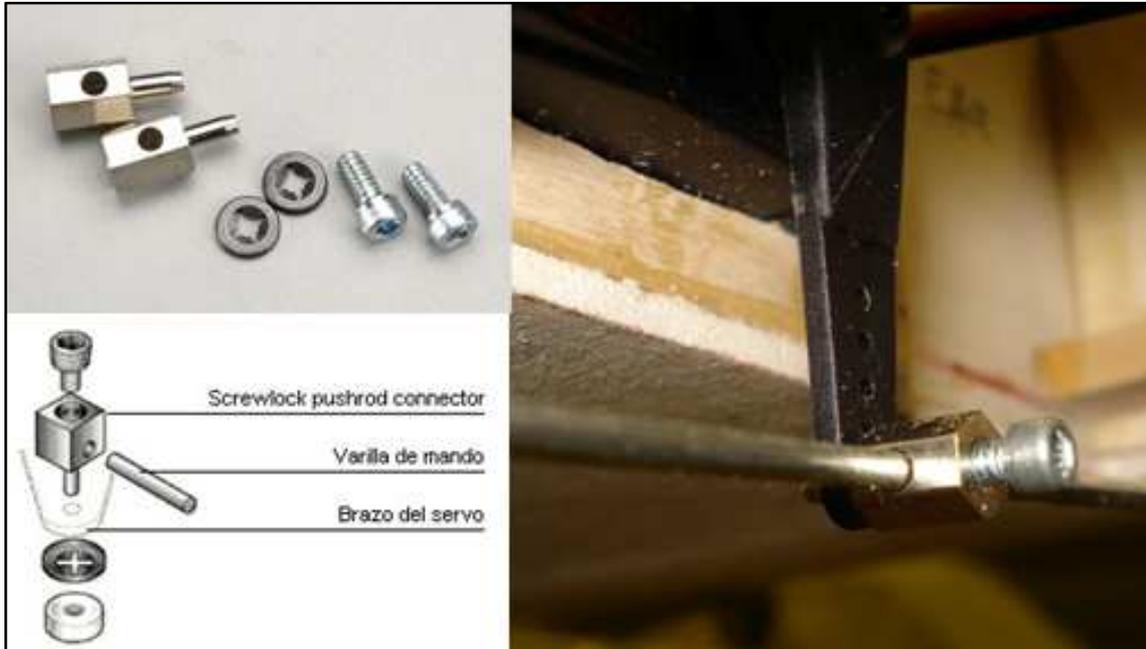


Imagen 7.28 (superior izquierda): "Screwlock Pushrod Connector". Fuente: [4]

Imagen 7.29 (inferior izquierda): Detalle del montaje de esta conexión. Fuente: [6]

Imagen 7.30 (derecha): Montaje de este conjunto en el UAV Céfire. Fuente: Elaboración propia

c) Terminales de conexión para varillas de mando

c.1) Roscadas, en acero

Terminales de conexión de tipo *kwik link* (imagen 7.31) para acople con varillas de mando roscadas. Las secciones de silicona azul son retenedores para asegurar la fiabilidad del elemento frente a aperturas ocasionales involuntarias (véase la imagen 7.32). Se emplean en el enlace del *kwik link* con la palometa de entrada de combustible del carburador.

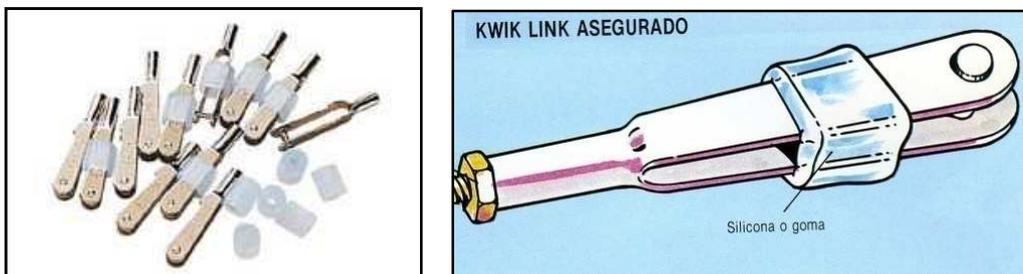


Imagen 7.31 (izquierda): Terminales roscados con retenedor colocado. Fuente: [4]

Imagen 7.32 (derecha): Ilustración de un kwik link asegurado. Fuente: [12]

c.2) Con cierre de seguridad

Terminales de conexión tipo *kwik link* con un cierre para ser fijadas con seguridad a varillas de mando ([imagen 7.33](#)).

c.3) Soldables

Terminales de conexión tipo *kwik link* para su soldadura a las varillas de mando. Junto a estas conexiones se aprecian los retenedores de silicona azul que anteriormente se mostraban montados en las mismas ([imagen 7.34](#)).



Imagen 7.33 (izquierda): Terminales con cierre de seguridad / Imagen 7.34 (derecha): Terminales soldables.
Fuente: [4]

d) *Acoples entre varillas de mando y terminales de conexión*

Estas piezas sirven de acople entre el extremo roscado de las varillas de mando y las conexiones que enlazan con el brazo del servo (*kwik links*, rótulas...). [También se montan mediante soldadura, como muestra la imagen 7.36](#).



Imagen 7.35 (izquierda) Acoples de acero. Fuente: [4]

Imagen 7.36 (derecha): Soldado de un acople con una varilla de mando. Fuente: Elaboración propia

e) *Conexión varillas de mando – escuadras de mando*

Terminales de conexión de tipo rótula. La ventaja de éstos frente a los *kwik links* es una mayor flexibilidad en la unión facilitando unos movimientos más suaves, por eso se han empleado en los enlaces con las escuadras de mando de las superficies de control. Las imágenes 7.37 -7.39 muestran detalles sobre el conjunto de elementos, cómo ensamblarlos y del resultado final del conjunto montado.



Imagen 7.37 (izquierda): Conjunto de conexión. Fuente: [5]

Imagen 7.38 (central): Conjunto de conexión montado sobre una varilla de mando roscada. Fuente: Elaboración propia

Imagen 7.39 (derecha): Detalle de montaje de esta conexión. Fuente: [6]

f) *Varillas de mando*

Enlazan las escuadras de mando con los brazos de los servos. Las empleadas en este UAV son de dos tipos:

f.1) Roscadas en los extremos (diferentes longitudes) (imagen 7.40): se ha empleado en el sistema de dirección del tren auxiliar.

f.2) Roscadas en toda su longitud (12" de longitud) (imagen 7.41): empleadas en el sistema de mandos de vuelo para efectuar las superficies de control.

f.3) Roscadas por un extremo y lisas por otro (imagen no disponible): empleadas en el sistema de mandos de vuelo para deflectar las superficies de control y en el sistema de control de aceleración del motor.



Imagen 7.40 (izquierda): Varillas de mando roscadas en los extremos / Imagen 7.41 (derecha): Varillas de mando roscadas. Fuente: [4]

g) *Bisagras para las superficies de control*

Las maniobras de un avión en vuelo se realizan gracias a la deflexión de las superficies de control localizadas en las alas y los timones de profundidad y dirección de cola. En este movimiento, generado por los sistemas electromecánicos de abordaje, hay un elemento, de pequeño tamaño pero de gran importancia. Se trata de las bisagras, piezas que posibilitan el giro de las superficies de mando gracias a que poseen un eje de giro o pasador de acero.

La colocación de estas piezas es de vital importancia, no sólo por el hecho del papel que juegan en la seguridad y precisión de las maniobras, sino también porque una instalación inadecuada puede llegar a producir averías en el sistema eléctrico del avión (una mala colocación de las bisagras –alineamientos defectuosos, restos de pegamentos depositados en el eje, etc.– provoca giros de la superficie de control con dificultad, lo cual supone que el servo encargado de mover ese mando debe realizar un esfuerzo extra para conseguirlo. Esto implicaría una mayor demanda de energía, con lo cual la batería que alimenta todo el sistema eléctrico del UAV se descargaría mucho antes de lo previsto, generando un problema grave para la aeronave si en ese momento estuviera en vuelo) (ver imagen 7.43).

La instalación se hará en el borde de la superficie donde se va a fijar (véase el resultado para un alerón en la imagen 7.42), lugar donde se abre una ranura, en la que se introduce una de las placas de la bisagra a la cual se ha aplicado previamente pegamento epóxico. Los taladros que posee esta placa ayudan a retener el pegamento haciendo más efectiva la sujeción.



Imagen 7.42: Bisagras para la unión borde de salida – flap. Fuente: Elaboración propia
Imagen 7.43: Alineación de bisagras. Fuente: [12]

9. Tren de aterrizaje

El tren de aterrizaje que monta este UAV es un tren fijo, con disposición tipo triciclo (consultar plano CF-DOC/ 3 vistas en el epígrafe 5.Plano de configuración). El sistema se compone de un tren auxiliar o pata de morro, y un tren principal o tren trasero.

a) *Tren delantero*

El tren delantero (imagen 7.45) que se ha tomado para este UAV es un tren direccional mediante servo (se ha dotado de esta cualidad al tren adquirido en el comercio, véase epígrafe 8.1.4 *Tren de aterrizaje*). Como se aprecia en la imagen 7.44 cuenta con un elemento amortiguador para la absorción efectiva de impactos.

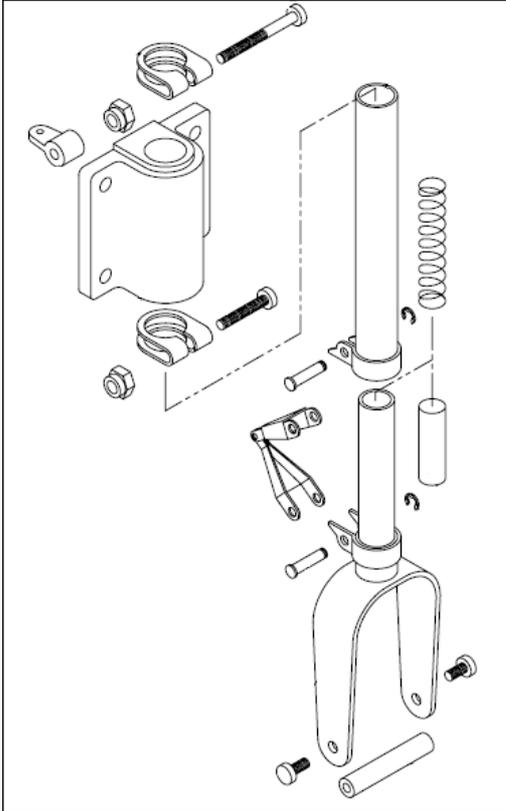


Imagen 7.44 (izquierda): Despiece del tren delantero / Imagen 7.45 (derecha): Tren delantero. Fuente: [9]

b) *Tren principal*

El tren trasero construido en fibra de vidrio (imagen 7.46), se halla ubicado aproximadamente bajo el centro de gravedad de la aeronave, en la zona más atrasada del Fuselaje Principal (véase la vista en planta del plano CF-DOC/3 vistas). Para la colocación de las ruedas, deben taladrarse las patas del tren para alojar los pasadores que permiten que las ruedas giren. Una vez montados ruedas y pasadores, se colocan dos tuercas especiales (“prisioneros”) sobre el eje, en sus extremos, para evitar que las ruedas se salgan del mismo.



Imagen 7.46: Atornillado del Tren principal al fuselaje.
Fuente: Elaboración propia

c) *Ruedas*



Imagen 7.47: Rueda de morro.
Fuente: Elaboración propia

Las ruedas son un elemento esencial en la aeronave, ya que de ellas depende buena parte del comportamiento del modelo en tierra, al ser el componente que soporta directamente las vibraciones e impactos con la pista. En concreto, las operaciones de despegue, aterrizaje y taxi están fuertemente condicionadas por el tipo de rueda que se emplea. Así pues, no es conveniente usar ruedas demasiado duras, ya que no absorberían correctamente los impactos, transmitiéndose de manera excesiva las solicitaciones a la zona de cogida del tren y por ende a la aeronave. Tampoco es adecuado usar ruedas excesivamente blandas puesto que se empeora el control de la aeronave en tierra al aumentar la superficie de fricción con el pavimento.

Todas las opciones anteriormente expuestas han sido ensayadas para el Céfire, resultando como solución idónea emplear ruedas semiduras, que permitan la operación en pistas someramente preparadas. Otras características de estos elementos son: Material: caucho; Diámetro: 127 mm. Semiduras, sin cámara de aire.

10. Tubos de cola

Los tubos de cola son los elementos que conectan las alas con la cola, en concreto con el estabilizador horizontal. Son tubos huecos de Aluminio, material cuyo ratio resistencia – peso es inferior al de la fibra de Carbono. ¿Por qué no se optó entonces por tubos de fibra de Carbono? La razón de peso que justifica esta decisión, es el alto coste que supone colocar dos tubos de fibra de Carbono, en concreto, dos metros de tubo en ese material cuestan 200 €, mientras que 12 metros de tubo de Aluminio cuestan 25 € aproximadamente. Además el ahorro de peso no es demasiado significativo, en torno a 300 gr (esto se analiza en [41]).

Como detalles adicionales se hace constar que los tubos, fabricados en Aluminio 6063 (aleación común en la extrusión de tubos, fácilmente adquirible en comercio), tienen una longitud de 1,3 m, un diámetro de 30 mm y un espesor de 2 mm. Estos valores fueron determinados por el área de estructuras [41] según las solicitaciones requeridas.

11. Recubrimientos y adhesivos

El recubrimiento que se ha colocado sobre la superficie de la aeronave es un film plástico termo-adhesivo que se aplica mediante una pequeña plancha. El producto consiste en una fina lámina de plástico cuya superficie está coloreada. Lo importante de este componente, son sus dos principales propiedades que lo hacen apto para esta aplicación. La primera consiste en su excelente capacidad autoadhesiva por aplicación de calor. Este plástico por una de las caras lleva pegada otra lámina de PVC, que sirve de protección a una película de pegamento que a la temperatura ambiente no es adhesivo, pero que basta con aplicar calor por medio de una plancha (véase la imagen 7.63) o secador, para que se adhiera a la superficie deseada.

La segunda propiedad que caracteriza este material, es su capacidad de disminuir su superficie también por medio de la aplicación de calor. Así, se puede recubrir la estructura eliminando los pliegues o arrugas que pudieran aparecer en la operación de entelado.

A pesar de las diversas marcas comerciales con que se vende este producto, se ha generalizado el nombre de Monokote como denominación común para el mismo. Así pues, el Monokote, respecto a los recubrimientos convencionales, como la tela, tiene algunas ventajas claras. La principal es la rapidez de aplicación, ya que no hay que aplicar ningún producto previo sobre la superficie, sólo debe estar bien lijada, presentado una superficie lo más lisa posible (así mismo la madera de balsa propicia el uso de este recubrimiento, ya que es un material muy poroso y cuando se está pegando el plástico, el aire se filtra a través de esos poros, quedando el plástico perfectamente adherido **y presentado un acabado liso**). Otra ventaja es la limpieza y la ausencia de olores fuertes o tóxicos, característicos de la pintura o los barnices tapaporos. El peso es otro punto importante, ya que es ligeramente menor que el de los otros sistemas de recubrimiento.

Entre sus desventajas se pueden citar el precio, sensiblemente superior al de otros recubrimientos, y adicionalmente, a diferencia de las telas, no contribuye a dar rigidez a la estructura. También, como último aspecto negativo, se señala que el aceite del escape de motor tiende a despegar fácilmente el Monokote en las zonas de unión.

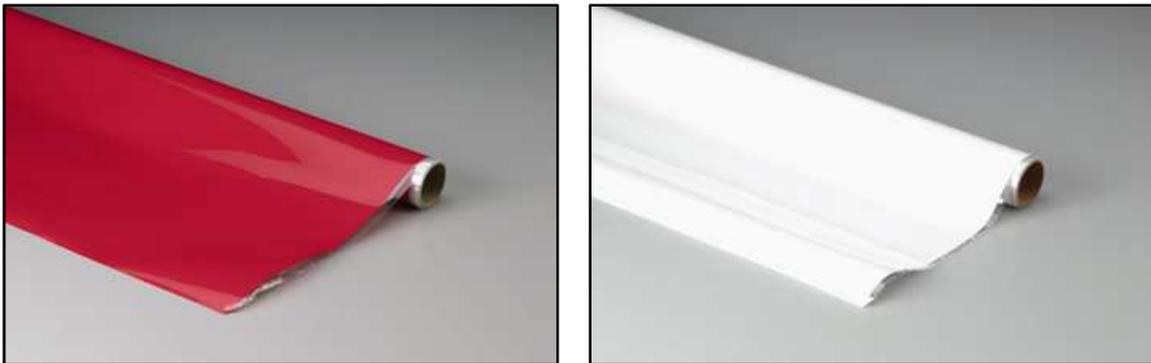


Imagen 7.48: Colores de Monokote empleados. Fuente: [4]

Sobre este film plástico se han empleado adhesivos. Éstos son pegatinas de vinilo, que van colocadas en el extradós de ambas alas y del plano medio, así como también en el lateral del morro, como se aprecia en las imágenes inferiores.



Imagen 7.49 (izquierda): Adhesivos del extradós / Imagen 7.50 (derecha): Adhesivos en el lateral del morro.
Fuente: Elaboración propia

7.2 Elementos asociados del UAV

En esta sección se agrupan todos aquellos accesorios relacionados con los elementos del epígrafe 7.1 *Elementos propios del UAV*. Asociados a los siguientes grupos se tienen:

1. Sistema de combustible
 - a) Bomba manual para repostado
 - b) Filtros para repostado
 - c) Conducción para repostado
 - d) Gasolina sin plomo de 95 octanos
 - e) Aceite Castrol Power 1 TTS

2. Sistema de comunicaciones
 - a) Dispositivo para carga/descarga/equilibrado de baterías
 - b) Maletín de transporte para la emisora
 - c) Emisora

3. Servos y conectores
 - a) Excitador de servos

4. Hélice
 - a) Dispositivo para equilibrado de hélices
 - b) Tacómetro digital

5. Recubrimientos
 - a) Plancha y elementos asociados
 - b) Secador

6. Reglaje de superficies
 - a) Medidor de ángulos de deflexión

En las [páginas sucesivas](#) se expone una descripción de los componentes anteriores.

1. Sistema de combustible

En esta unidad se exponen los accesorios que se emplean para las operaciones de repostaje.

a) *Bomba manual para repostaje*

Bomba de repostaje de accionamiento manual (imagen 7.53). También existen otras que funcionan mediante motor eléctrico incorporado aunque su precio es superior y en realidad es algo prescindible.

b) *Filtros para repostaje*

Se coloca inmediatamente a la salida de la bomba de repostado y permite bloquear el paso de impurezas en la operación de bombeo de combustible desde el tanque de combustible. Posee dos filtros idénticos para eliminar cualquier partícula o impureza que pudiera dañar el motor. El conjunto de piezas y su modo de instalación de muestra en las imágenes 7.51 y 7.52 respectivamente.



Imagen 7.51 (izquierda): Piezas del filtro. Fuente: [4]

Imagen 7.52 (derecha): Disposición de las piezas del filtro. Fuente: [6]

c) *Conducción para repostaje*

Enlaza la salida desde el depósito de repostado en tierra con la bomba manual de llenado que se ha expuesto con anterioridad. Este elemento se muestra de forma aislada en la imagen 7.54 e instalado para su uso en la imagen 7.55.



Imagen 7.53 (superior izquierda): Bomba manual para repostado / Imagen 7.54 (inferior izquierda): Conducción de silicona para repostado. Fuente: [4]

Imagen 7.55 (derecha): Conducción para repostado y bomba manual instalados. Fuente: Elaboración propia

- d – Gasolina sin plomo de 95 octanos
- e – Aceite Castrol Power 1 TTS

2. Sistema de comunicaciones

Asociados al sistema de comunicaciones se describen los siguientes componentes:

a) *Dispositivo para carga/descarga/equilibrado de baterías (LiPo y NiMh) (imagen 7.56)*

Sobre el equilibrio entre los elementos de un pack:

Aunque todos los packs construidos están equilibrados en su momento de fabricación, se recomienda comprobar el voltaje de cada elemento utilizando el conector de puntos intermedios del pack, antes de su primer uso. Igualmente se debe comprobar el voltaje de cada elemento cada 25 usos o una vez cada 3 meses.

Sólo si existiera un desequilibrio entre elementos superior a 0,1 V debe realizarse un equilibrado antes de su uso, tarea para la cual es apto este dispositivo.

Respecto a la carga/descarga de las baterías:

El pack después de su fabricación normalmente se encuentra a media carga o cargado. Si el pack va a ser utilizado en descargas superiores a 2 C, como es el caso, se deben hacer 3 o más ciclos de carga/descarga a 1 C, o menos, antes de utilizarlo. Este proceso debe realizarse también después de un periodo de almacenamiento de las baterías superior a 6 meses. Es de vital importancia realizar esta actividad ya que previene daños internos a los elementos debido al “efecto de pasivación”

Como instrucciones básicas para carga/descarga de baterías hay que considerar:

- Cargar en un contenedor o zona ignífuga (suelo), nunca en el interior de la aeronave.
- Asegurarse de programar correctamente el cargador para el pack que se va a cargar tanto en voltaje como en intensidad.
- No cargar las baterías de Polímero de Litio con intensidad mayor a 1 C, ya que hacerlo, reduce la capacidad y vida de las baterías con muy poco ahorro de tiempo de carga.
- Inspeccionar cuidadosamente el pack. Si está deformado no debe emplearse, desecharlo (no debe golpearse, ni doblar o deformar el pack).
- La vida del pack será mucho más larga si en cada descarga/utilización no se llega a descargar completamente.
- No descargar los packs de LiPo (de 7,4 v) por debajo de 6 v ya que pueden producirse daños en los mismos.
- No utilizar los elementos/packs por encima de su descarga máxima (Indicada en el pack)
- Se debe tener siempre mucho cuidado de no cortocircuitar los elementos/packs de Lipo. Es muy peligroso puesto que pueden explotar ([imagen 9.18 epígrafe 9.2 Resultados negativos de pruebas funcionales](#)), y la corriente que pasa a través de

* La pasivación consiste en la formación de una fina película de Cloruro de Litio en la superficie del ánodo. Este proceso químico no es perjudicial para las baterías, ya que contribuye a evitar las auto-descargas cuando las baterías no están siendo usadas. No obstante, esta capa, se comporta funcionalmente como una resistencia, produciendo una caída de tensión o “retraso” en la entrega de energía.

los terminales, cables o conectores, los sobrecalentará en una fracción de segundo, fundiendo las partes aislantes de los cables si son de PVC,

- Cuando las baterías no vayan a utilizarse, hay que guardarlas a media carga (3 V aprox.), nunca vacías o completamente cargadas. De esta forma se prolongará la vida de la batería.

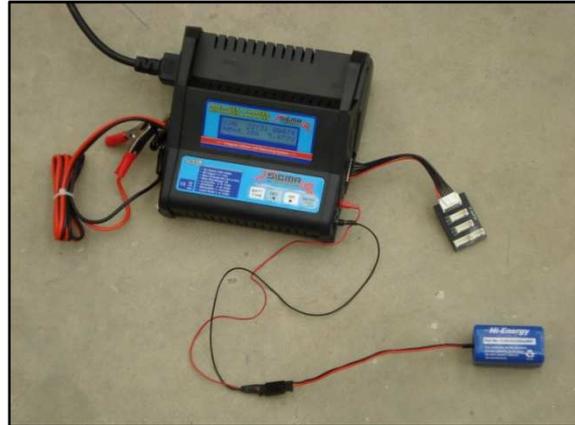


Imagen 7.56 (izquierda): Equipo de carga/descarga/equilibrado. Fuente: [4]

Imagen 7.57 (derecha): Proceso de carga de la batería de motor. Fuente: Elaboración propia

b) *Maletín de transporte para emisora*

c) *Emisora Futaba k9200*: La emisora que se emplea tiene las siguientes características principales:

- Banda de frecuencia: 35, 40 MHz
- Canales de frecuencia: 20 (+10), 22
- Sistema de transmisión: FM / PCM
- Espacio de canales: 10 KHz
- Alimentación: 9,6 V batería NiCd
- Dimensiones: 180 x 180 x 60 mm.
- Peso con batería: 935 gr.

Una información más extensa puede localizarse en el manual de la emisora, que puede encontrarse en <<http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>>. Los controles empleados en el UAV Céfire se presentan en el epígrafe 9.1 *Pruebas funcionales realizadas*, en la imagen 9.4.



Imagen 7.58 (izquierda): Maletín de transporte para emisora. Fuente: [4]

Imagen 7.59 (derecha): Emisora Futaba T9CP Super PCM 1024. Fuente: Manual de la emisora

3. Servos y Conectores

A continuación se presenta el dispositivo asociado al test de los servos:

a) *Excitador de servos*

Con este dispositivo ([ver imagen 7.60](#)) se pueden testear los servos y regular su recorrido, permitiendo una puesta a punto eficaz y sencilla de la cadena cinemática de transmisión asociada a los servos. Las funciones básicas de las que se han hecho uso se muestran en la imagen siguiente:

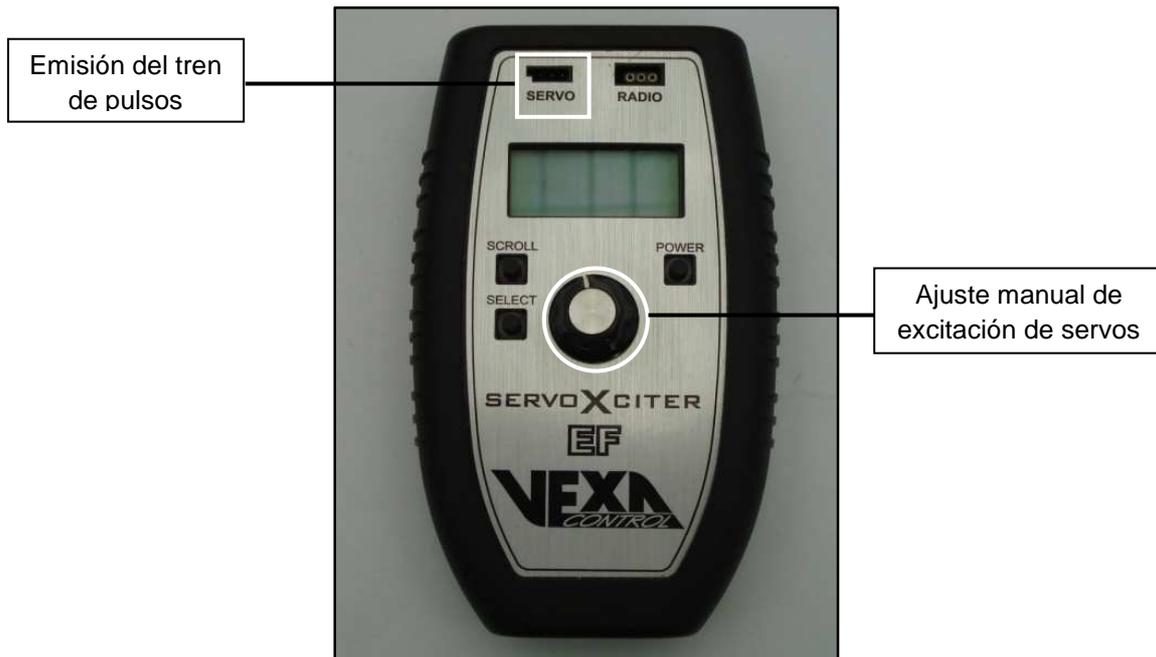


Imagen 7.60: Excitador de servos Vexa control.
Fuente: Elaboración propia

Para emplear este dispositivo, encender (pulsador *power*) y colocar el conector simple del servo en el **terminal** superior izquierdo. Posteriormente se modula su recorrido con la rueda de ajuste manual, que proporciona la “sensación analógica” necesaria para ajustar el recorrido del servo.

4. Hélice

Los equipos empleados para las operaciones asociadas a la hélice son los siguientes:

a) *Dispositivo para equilibrado de hélices*

Este dispositivo permite equilibrar la hélice, conseguir que ambas palas tengan el mismo peso. Si una pala es más pesada que la otra, al girar no se equilibran las fuerzas centrífugas y el motor tenderá a sacudir todo el modelo. Otro efecto negativo es que puede estropearse el cojinete o rodamiento delantero del motor.

Para equilibrar una hélice es necesario introducir un eje que entre apretado en el agujero de su cubo **y apoyar sus extremos** ([véase la imagen 7.62](#)). Si una de las palas cae, es que pesa más que la otra y habrá que actuar (bien, lijando o bien colocando un peso incrustado) sobre la pala más pesada, hasta que la hélice quede horizontal, paralela al suelo.

b) *Tacómetro digital*

Con el tacómetro (imagen 7.61) se miden las rpm de hélice, mediante un sensor luminoso que apuntamos hacia la misma, de forma que al moverse ésta se producen variaciones en el haz que permiten contabilizar las revoluciones (hay que tener cuidado, pues se debe ajustar para el número de palas que tenga nuestra hélice, este caso es dos).

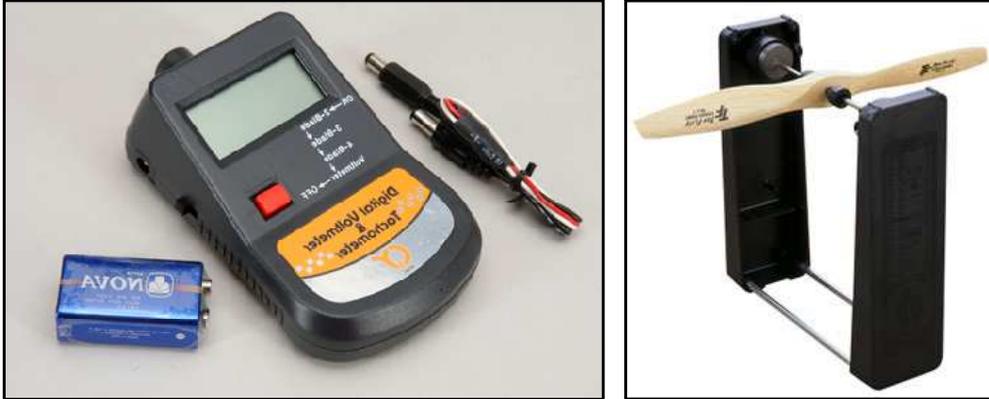


Imagen 7.61 (izquierda): Tacómetro digital / Imagen 7.62 (derecha): Equilibrado de una hélice.
Fuente: [4]

5. Recubrimientos

En este punto se muestran los accesorios involucrados en las actividades de recubrimiento de la aeronave:

a) *Plancha y elementos asociados*

Para extender el recubrimiento plástico se puede **ha de** calor por contacto directo. Una opción es emplear una plancha de temperatura regulable que tiene un mango para su manejo y cuyo tamaño es ligeramente menor que el de las planchas de uso doméstico. Además la base de la plancha se recubre con una tela, a modo de calcetín, para no dañar el recubrimiento, y se recomienda emplear un guante para su aplicación (ver imágenes 7.63-7.65).

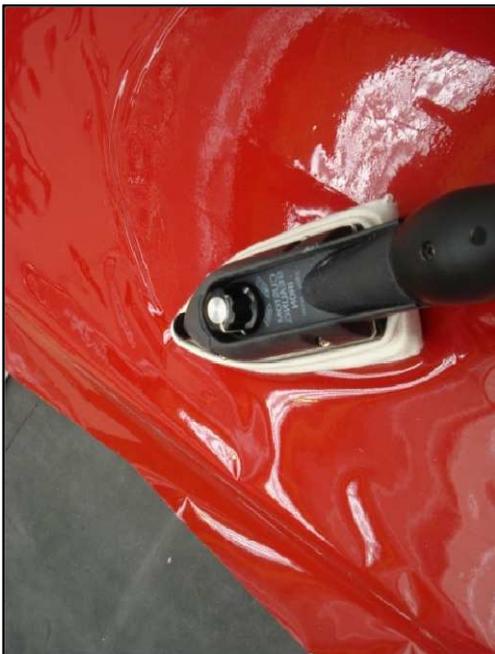


Imagen 7.63 (izquierda): Plancha para recubrimiento. Fuente: Elaboración propia
Imagen 7.64 (superior derecha): Calcetín para plancha / Imagen 7.65 (inferior derecha): Guante de protección. 98
Fuente: [4]

b) Secador

Otra forma de aplicar calor al recubrimiento es mediante un chorro de aire caliente a la temperatura adecuada. Para ello se emplea un aparato similar a un secador de pelo (imagen 7.66), que también cuenta con la posibilidad de regular la temperatura del aire.

6. Reglaje de superficies

b) Medidor de ángulos de deflexión

Este dispositivo de medida (imagen 7.67) se emplea para medir las deflexiones de las superficies de control (posee una escala en pulgadas que alcanza desde -2 a +2). Se empleará en las pruebas funcionales de reglaje y barrido de las superficies de control y del tren auxiliar. Mediante dos elementos fijadores (indicación roja de la imagen 7.67) se acopla al borde de salida de las alas, entonces se comprueba el arco que recorre la superficie de control en cuestión, y mediante trigonometría se calcula el ángulo (arco = ángulo x radio).

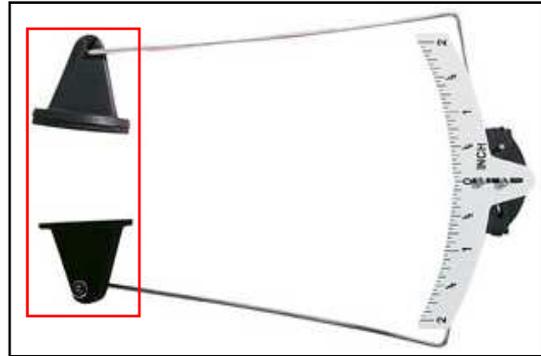


Imagen 7.66 (izquierda): Secador / Imagen 7.67 (derecha): Medidor de deflexión. Fuente: [4]

8. Procesos de integración⁷

Siguiendo un proceso secuencial y escalonado, basado en las técnicas CAD/CAM (ver epígrafe 6 *Fabricación. Procesos CAD/CAM*), se han construido los grupos estructurales que modularmente configuran este UAV. Dichos módulos estructurales son: Fuselaje Central o **Principal**, **Fuselaje de Morro**, Grupo alar y **Estabilizadores Horizontal y Verticales**. Tras ser probados y equipados están listos para integrarse en el montaje final de la aeronave.

El proceso de montaje de esta aeronave es análogo al de cualquier avión comercial, aunque evidentemente, es un proceso mucho más simplificado y menos costoso. De acuerdo con [esta idea](#), el proceso seguido ha sido:

- I. Procesos de integración Estructural
 - o De Grupos estructurales ([que previamente han sido](#) equipados con sus sistemas respectivos)
 - Fuselaje de morro – Fuselaje principal
 - Fuselaje principal – Ala Central
 - Ala Central – Extremos de ala
 - Ala Central – Estabilizador Horizontal / Vertical
 - o Integración del tren de aterrizaje
 - o Integración de los Tubos de Cola
- II. Procesos de Integración de Sistemas
 - o Equipado del motor
 - o Unión de sistemas entre los distintos grupos, equipado final.
 - o Pruebas funcionales *indoor* y *outdoor*.
 - o Integración de planta de potencia (montaje de motor)
- III. Procesos de acondicionamiento interior y cierre
- IV. Procesos de Línea de Vuelo
 - o Rodaje de Motor: Pruebas funcionales que garanticen el correcto funcionamiento de la planta de potencia, así como de todos los sistemas con el motor en marcha.
 - o Vuelos de prueba y de Aceptación: Demostrar las actuaciones en vuelo del UAV
- V. Recubrimiento exterior
- VI. Entrega

En este epígrafe se trata la sección I, aunque antes se va a hablar del equipado de los grupos estructurales con los sistemas que correspondan. También se estudia el punto II, excepto la parte de pruebas funcionales, que junto con el punto IV se analizan en el epígrafe 9 *Pruebas Funcionales*.

⁷ Este epígrafe está basado en

[12] Andrés Aylagas, et al. "Aeromodelismo y radiocontrol. Enciclopedia Práctica". Hobby Press, S.A. Madrid 1984
[35] Antonio Corrales Domínguez "Apuntes de Integración de Sistemas y Pruebas Funcionales", Sevilla, curso 2007/2008

8.1 Equipado de grupos estructurales

Habiendo presentado una descripción funcional de los elementos necesarios para el equipado de las secciones con sus sistemas respectivos (consultar epígrafe 7. *Componentes del UAV*), se procede a analizar cómo se asocian entre sí. Para ello se van a estudiar los montajes que se realizan en la aeronave, una vez concluida la construcción de los diferentes grupos o módulos que configuran el UAV, según los siguientes sistemas:

- Sistema de mandos de vuelo
- Sistema de comunicaciones
- Planta de potencia
- Control de motor
- Sistema de combustible
- Tren de aterrizaje

A continuación se detallan los equipados realizados con los sistemas anteriores.

8.1.1 Sistema de mandos de vuelo

Este sistema se encuentra en las secciones de Extremo de Ala y Estabilizadores Horizontal y Verticales. En el equipado de dichas estructuras con el mismo, se distinguen dos segmentos diferentes: uno puramente mecánico (cadena cinemática de transmisión de movimientos a la superficies de control) y otro eléctrico (enlace de los servos con el receptor).

La descripción del equipado con el sistema de mandos de vuelo según el módulo de la aeronave en el que se integra, se presenta **bajo estas líneas**:

1) Equipado de Extremos de Ala con sistema de mandos de vuelo

Para cada Extremo de Ala se tienen dos servos, uno para la deflexión de Flap y otro para la deflexión de Alerón. Sin entrar en detalles, la integración estructural de los mismos en el ala se realiza reforzando las costillas a las que van anclados mediante contrachapado (**para mayor detalle sobre este refuerzo consultar [41]**).

La varilla de mando conecta el brazo de los servos (mediante un “screwlock pushrod connector”, **indicación de color rojo en la imagen 8.3**) con las escuadras de mando atornilladas a las superficies de control. El enlace varilla – escuadra se efectúa por medio de un terminal de tipo **rótula para facilitar la articulación (véase la imagen 8.4)**.



Imagen 8.3 (izquierda): Instalación varilla de mando - servo. Imagen 8.4 (derecha): Instalación varilla de mando - escuadra de mando. Fuente: elaboración propia

Para el acceso a los servos de los Extremos de Ala, se han dispuesto cuatro compuertas en su intradós (la imagen 12.3 muestra la tipología de las compuertas implementadas en el UAV).

2) Equipado de Cola con el sistema de mando

El equipado de los estabilizadores Horizontal y Verticales de cola con el sistema de mandos de vuelo se hace de forma análoga a la realizada con los Extremos de Ala.

Al igual que para la instalación anteriormente descrita, el montaje de la cadena de transmisión para el manejo de las superficies de control, debe hacerse de forma muy cuidadosa, ya que una mala integración puede suponer tensiones mecánicas en la línea que desembocan en la rotura del servo o en una descarga más rápida de las baterías. Esto es debido a que el esfuerzo que habría que hacer para mover las superficies de mando, en un caso como este, demandaría más energía (ver imagen 8.5).

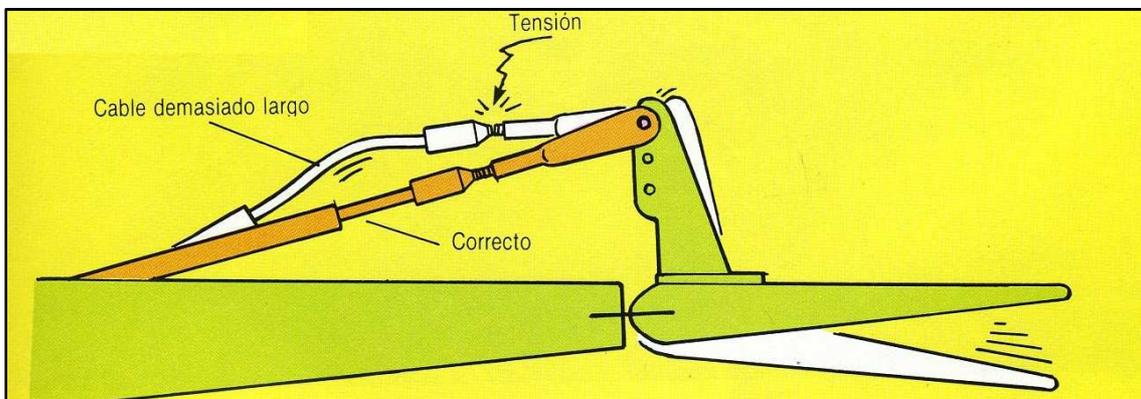


Imagen 8.5: Defectos de montaje en la instalación de mandos de vuelo. Fuente: [12]

8.1.2 Sistema de comunicaciones

Aquí se trata la instalación del sistema de comunicaciones en la aeronave (sólo se habla de su disposición física en el Fuselaje Principal. Las conexiones se tratan en el epígrafe 8.3 *Integración de sistemas*). En concreto se considera la disposición de los siguientes componentes:

a) Interruptor de encendido

Estos interruptores deben colocarse en un sitio accesible desde el exterior, para una rápida (des)conexión según lo urgente de las circunstancias. Dado que la longitud de cable que tienen es corta, deben posicionarse en las proximidades de la situación de receptor y batería de motor, esto es, en la zona trasera del fuselaje. De ahí que se hayan colocado bajo el ala izquierda, en el lateral del Fuselaje Central.



Imagen 8.6: Posición de los interruptores en la aeronave.
Fuente: Elaboración propia

Nota: El dispositivo que se aprecia delante del interruptor inferior (ver imagen 8.6), que sirve para la gestión “inteligente” de la energía de las baterías, **no se usó finalmente por problemas de avería. Por ello no se da información del mismo.**

b) Baterías

Inicialmente se pensó que las dos baterías de LiPo que lleva el UAV debían ir situadas en la zona posterior del fuselaje, bajo la compuerta de acceso del plano medio, para poder (des)conectar sus conectores de forma sencilla y rápida. El problema es que son elementos demasiado grandes para el espacio del que se disponía bajo la mencionada compuerta, donde además debían ir colocados el regulador de tensión y el receptor. Por este motivo se optó por construir una bandeja de contrachapado que **desliza** a través de un sistema de guías situadas en las paredes laterales del fuselaje a media altura. Así, puede extraerse la bandeja por el hueco que deja la primera cuaderna del fuselaje, y **efectuar** las conexiones con los cables que se dirigen al regulador de tensión. **Además proporciona la ventaja adicional de que preserva las baterías frente a eventuales derrames de combustible.**

Así mismo, con objeto de absorber las vibraciones que sufre la bandeja, se disponen tiras de goma espuma en la cara interior de las guías de madera de picea. **Igualmente**, se ha colocado una pared, recubierta por goma espuma, que contacta con el final de la bandeja, estableciendo una separación física con la zona del tanque de combustible (véanse estos detalles en las imágenes 8.7 y 8.8).



Imagen 8.7 (izquierda): Sistema de bandeja extraíble mediante guías acolchadas. Imagen 8.8 (derecha): Disposición de elementos (baterías de LiPo y regulador de tensión) en la bandeja. Fuente: Elaboración propia

La batería de motor por su parte, se coloca en las proximidades la [cuaderna cortafuegos](#), en concreto, delante del dispositivo de ignición electrónica, también en una posición elevada, por si hubiera problemas de derrame de combustible ([para entender con claridad estos comentarios ver la imagen 8.9](#)).



Imagen 8.9: Posición de la batería de motor. Fuente: Elaboración propia

Obsérvese que todas las baterías de abordo van sujetas por medio de velcro (para más detalle consultar epígrafe [12.7. ANEXO: 7 Uniones](#))

c) Regulador de tensión

El regulador de tensión está situado en la bandeja de aviónica, bajo la compuerta del plano medio, adherido mediante velcro ([consultar imagen 8.8](#))

d) Receptor

El receptor es el elemento clave en el control de la aeronave, [ya que es el que transmite la información necesaria para el control de las superficies de mando y del motor](#). De su situación depende la de otros dispositivos asociados a los diferentes sistemas, ya que al receptor llegan todos los conectores de: mandos de vuelo, [control de motor](#), tren auxiliar, regulador de tensión (baterías) e interruptor de encendido. [Por tanto, es importante que el receptor se encuentre en un sitio accesible, de ahí que se haya instalado en el larguero delantero del Ala Central, bajo la compuerta del plano medio, sujetado mediante velcro.](#)

8.1.3 Planta de potencia

El equipado del motor se reduce a las siguientes operaciones (mostradas en la [secuencia de imágenes 8.10-8.13](#)):

- Montar el eje de transmisión y atornillarlo al cuerpo principal mediante 4 tornillos (métrica 5) ([imagen 8.10](#)).
- Colocar las bujías en su cuerpo principal, para lo cual, será necesario ubicar antes el dispositivo de ignición electrónica, ya que habrá que situar el latiguillo de masa para la bujía ([imagen 8.11](#)).
- Tras esto se acopla la hélice, que va fijada al eje de transmisión, por medio de 5 tornillos de cabeza hexagonal (cuatro de métrica 5 y uno central de métrica 8) ([imagen 8.12](#)). Previamente hay que preparar la hélice, ya que ésta sólo tiene un agujero central en el cubo. Para prepararla hay que retaladrar ese agujero dándole un diámetro acorde al tornillo central de sujeción, que es de métrica 8. Seguidamente se hacen los cuatro

taladros de métrica 5 que se **disponen alrededor del taladro central** (las operaciones de taladrado se realizan con el **taladro de banco**). Finalmente hay que **hacer hélice un equilibrado de la hélice conforme a lo indicado en el epígrafe 7. Componentes del UAV.**

- Colocar el escape, que va unido al cuerpo principal mediante dos tornillos de cabeza hexagonal (métrica 5) (**imagen 8.13**).



Imagen 8.10 (izquierda): Eje de transmisión desmontado / Imagen 8.11 (derecha): Colocación de la bujía en la cabeza del cilindro. Fuente: Elaboración propia

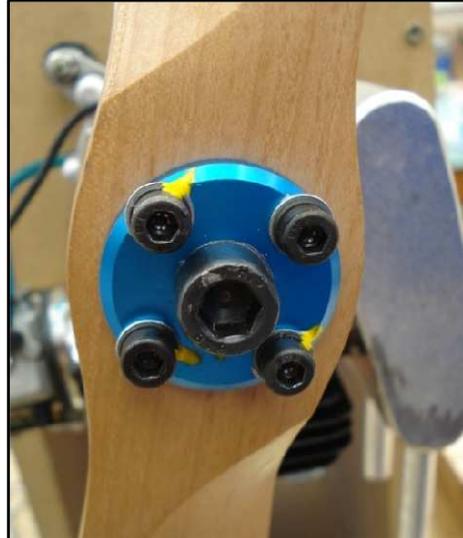


Imagen 8.12 (izquierda): Eje de transmisión atornillado al cuerpo principal.
Imagen 8.13 (derecha): Montaje de hélice y tubo de escape. Fuente: Elaboración propia

La situación del módulo de ignición electrónica se encuentra en el plano medio (detrás del segundo larguero), para poder acceder a su mantenimiento cómodamente. En concreto, se ubica junto al tanque de combustible, pero, colocado en una posición elevada respecto a la base de este último (**imagen 8.14**). El motivo de esta decisión es prevenir problemas frente a posibles fugas de combustible del tanque, y por otra parte facilitar su (des)instalación respecto a la posibilidad de derrame de combustible. Igualmente, el suelo de esta zona de Fuselaje Central se ha recubierto con epoxi, para garantizar la integridad del contrachapado en caso de fugas).

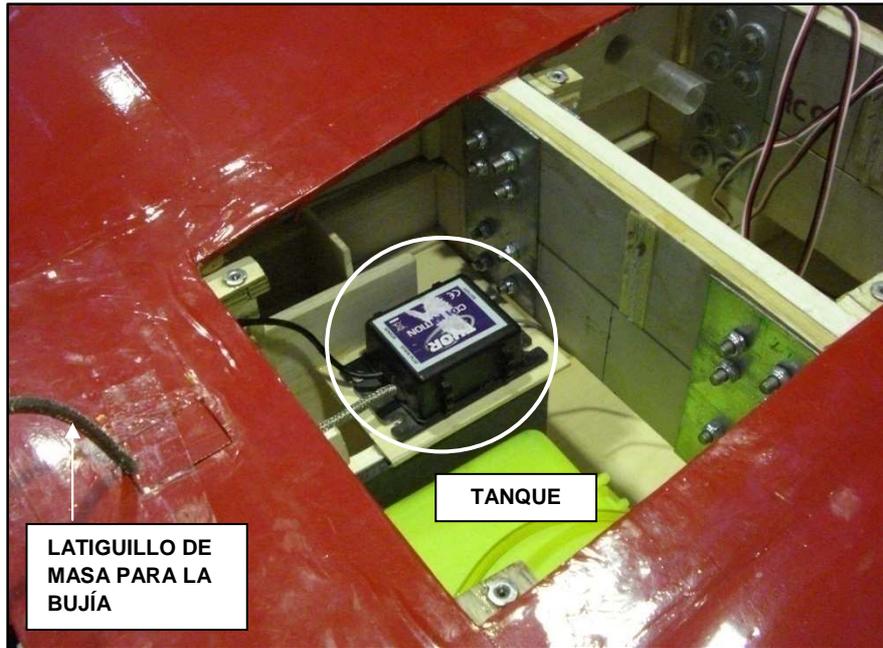


Imagen 8.14: Instalación del módulo CDI. Fuente: Elaboración propia

En la [imagen 8.14](#) nótese la disposición adoptada para el [módulo de ignición electrónica](#). Como puede observarse, las salidas del latiguillo de masa y del cable sensor están orientadas lo más cerca posible del motor, pues son segmentos de cable relativamente cortos, lo cual supone una limitación a la hora de [equipar la aeronave con este dispositivo](#).

La salida del latiguillo de masa hacia el motor se efectúa por medio de una trampilla situada tras la compuerta del [plano medio](#) (ver [imagen 8.14](#)), mientras que la salida del cable sensor se dispone por medio de un taladro en la [cuaderna cortafuegos](#), bajo el motor (para más detalle ver [imágenes 8.15](#) y [8.16](#)).

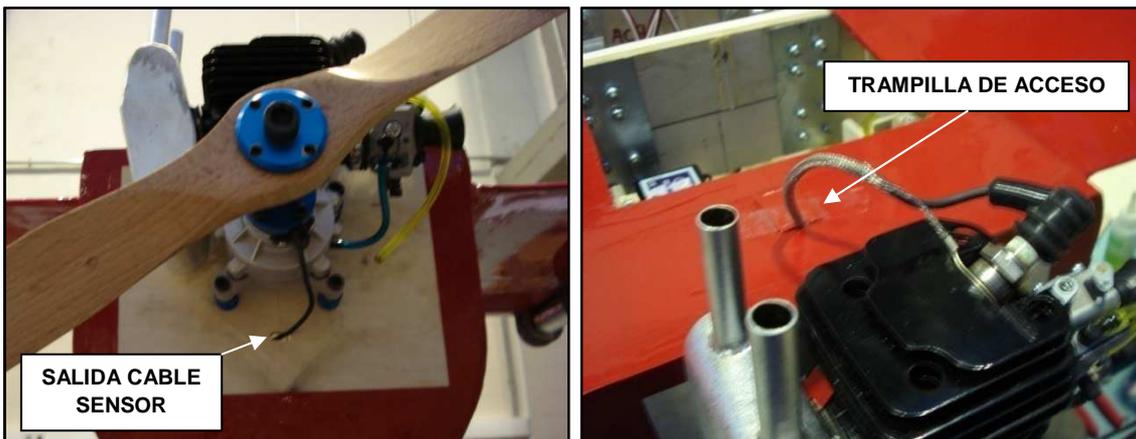


Imagen 8.15 (izquierda): Paso del cable sensor. Imagen 8.16 (derecha): Paso del latiguillo de masa por trampilla de extradós del Fuselaje principal. Fuente: Elaboración propia

8.1.4 Control de motor

Para tener control sobre la palometa de inyección de combustible, es necesario equipar el grupo estructural de Fuselaje Central con el sistema que se describe a continuación:

Este sistema consiste en: un servo digital S9650 (para más información ver epígrafe 7.1 *Elementos propios del UAV*), un terminal de conexión de tipo rótula y otro con cierre de seguridad + retenedor (éste es el que conecta con la palometa del carburador que rige el flujo de combustible), y una varilla de mando roscada en los extremos, que se ha maleado con la ayuda del doblador en Z (consultar epígrafe 6.1 *Requisitos de herramientas*) para poder integrarla en la estructura (todo lo anterior puede apreciarse en las imágenes 8.1 y 8.2).



Imagen 8.1 (izquierda): Instalación de servo y varilla de mando de motor. Imagen 8.2 (derecha): Enganche de la varilla de mando de motor con la palometa del carburador. Fuente: Elaboración propia

Para acceder a este sistema se abre directamente la compuerta situada en el extradós del plano medio.

8.1.5 Sistema de combustible

El equipado de la sección de Fuselaje Central con este sistema se describe como sigue:

El sistema de combustible se sitúa en la parte posterior del fuselaje, junto a la *cuaderna cortafuegos*. Como ya se ha señalado, el suelo en esta zona se ha recubierto con epoxi, para evitar dañar el contrachapado en caso de pequeñas fugas o derrame de combustible.



Imagen 8.17: Ubicación del tanque de combustible. Fuente: Elaboración propia

El tanque de combustible se orienta con su salida hacia el motor, y se encuentra ligeramente encajado entre la pared lateral derecha del fuselaje y una pared que se ha colocado en lado contrario, ambas forradas con goma espuma para atenuar las vibraciones (véase la imagen 8.17).

Las conducciones que salen desde el tanque de combustible se disponen entre el tanque y la *cuaderna cortafuegos*. (Para más detalle consultar

el epígrafe 8.3 *Procesos de integración de sistemas*).

8.1.6 Tren de aterrizaje

El sistema con el que se ha de equipar al tren auxiliar del Fuselaje de Morro para dotarlo de direccionalidad se realiza conforme a la instalación de los siguientes elementos: dos terminales de conexión de tipo rótula, una varilla de mando roscada en los extremos y un servo digital de alto par, el S9156 (ver epígrafe 7.1 *Elementos propios del UAV*).

Como breve reseña, se apunta que al Tren Auxiliar se le ha incorporado una pieza mecanizada en Aluminio donde se conecta uno de los extremos de la varilla de mando (véase la imagen 8.18).

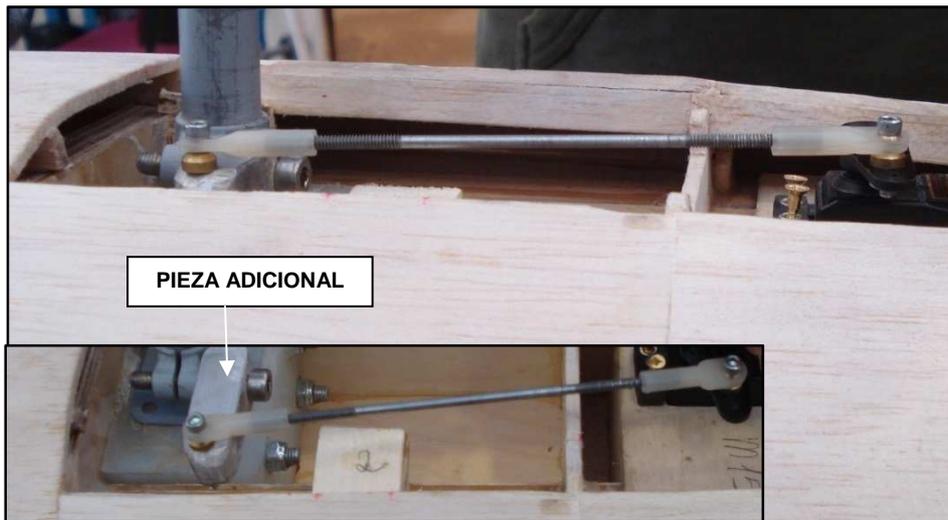


Imagen 8.18: Integración del mando del tren auxiliar. Fuente: Elaboración propia

Por último hay que señalar que para acceder al mantenimiento de este sistema, no se han implementado compuertas de acceso, sino que se ha optado por dejar esta zona semi-descubierta.

8.2 Procesos de integración estructural⁸

Se ha explicado con anterioridad que una de las ventajas con la que cuenta el UAV Céfire es su modularidad, y efectivamente, en las operaciones de integración y equipado de los módulos de la aeronave, es una cualidad altamente deseable, ya que facilita:

- Equipado en paralelo de los diferentes grupos estructurales.
- Movimiento de los módulos en distintas posiciones o “estaciones” de trabajo.
- Ensamblado en paralelo de las secciones que previamente han sido equipadas al mayor nivel posible.

La integración estructural⁸ en sí, es un proceso relativamente sencillo que aquí se expone de forma resumida ya que ha sido ampliamente detallado en [41]. Se acompaña

⁸ Este epígrafe está basado en

[41] Daniel Pérez Alcaraz. “Diseño estructural y construcción de avión no tripulado: El proyecto Céfire”, Sevilla, curso 2008/2009

[35] Antonio Corrales Domínguez. “Apuntes de Integración de Sistemas y Pruebas Funcionales”, Sevilla, curso 2007/2008

* En este documento se hablará de procesos de integración estructural, no de ensamblado, aunque, hay que remarcar que la integración de grupos estructurales es una de las operaciones básicas de una Línea Final de Ensamblado.

además de una imagen esquemática (imagen 8.37), con objeto de proporcionar una visión global de los procesos de ensamblado final (para más detalle consultar el epígrafe 5 Planos de configuración).

Básicamente el proceso de integración se realiza conforme a las siguientes operaciones (para más detalle sobre las uniones atornilladas, soldadas y otras, consultar el epígrafe 13.7 ANEXO 7: Uniones):

- Integración Tren Auxiliar - Morro (imágenes 8.19 y 8.20): En el proceso se emplean un bloque de nylon y cuatro uniones (juegos de tornillo, tuerca y arandela), aunque estos elementos se instalan previamente durante la construcción, pero son necesarios para alojar la pata de morro, que se sujeta finalmente mediante una presilla de acero. Ésta es colocada haciendo tope con el suelo de Morro, para evitar que el vástago deslice hacia abajo (véase la imagen 13.28).

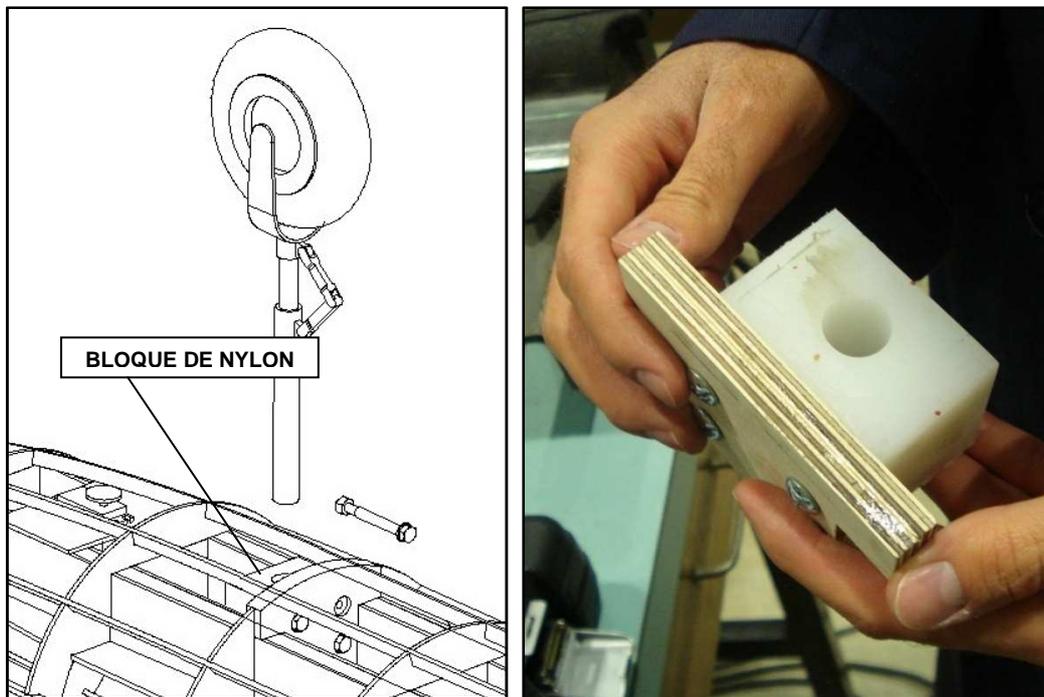


Imagen 8.19: Integración del tren auxiliar en el Morro. Fuente: CATIA V5

Imagen 8.20: Bloque de nylon con perforación para alojamiento del tren auxiliar. Fuente: Elaboración propia

- Integración Tren Principal – Fuselaje Central (imágenes 8.21 y 8.22): Se emplean cuatro uniones que lo fijan a una placa de contrachapado (juegos de tornillo, tuerca y arandela). Previamente se han instalado las ruedas, haciendo las dos perforaciones de 3 mm para los ejes, con un perforador manual.

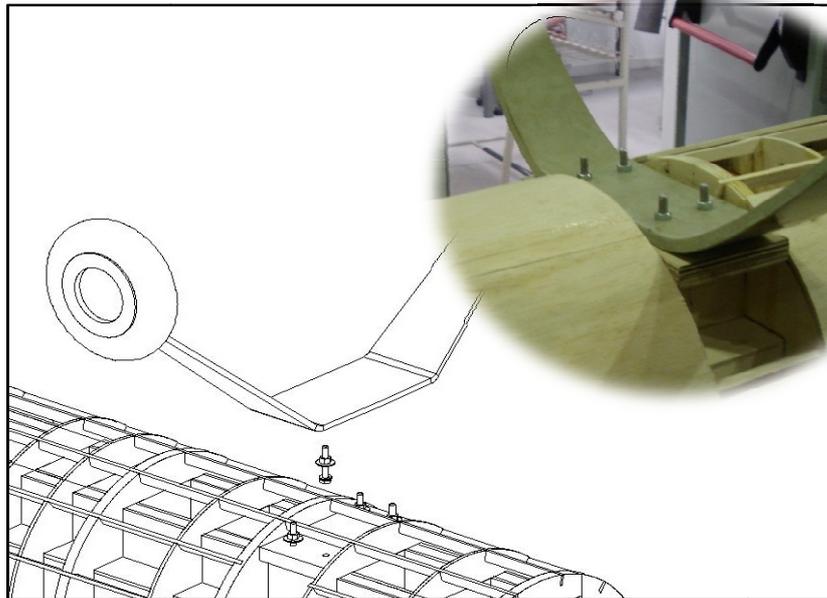


Imagen 8.21: Integración de tren principal en Fuselaje Central.

Fuente: CATIA V5

Imagen 8.22 (superior): Integración real de Tren Principal en Fuselaje Central.

Fuente: Elaboración propia

- Integración Fuselaje de Morro – Fuselaje Central (imágenes 8.23-8.25): La fijación se consigue acoplando los largueros hembra y macho situados respectivamente en Morro y Fuselaje Central. En concreto, se tienen 5 puntos de unión (tornillo, tuercas de clavar ubicadas en la cuaderna de morro e insertos roscados colocados en la cuaderna de fuselaje)

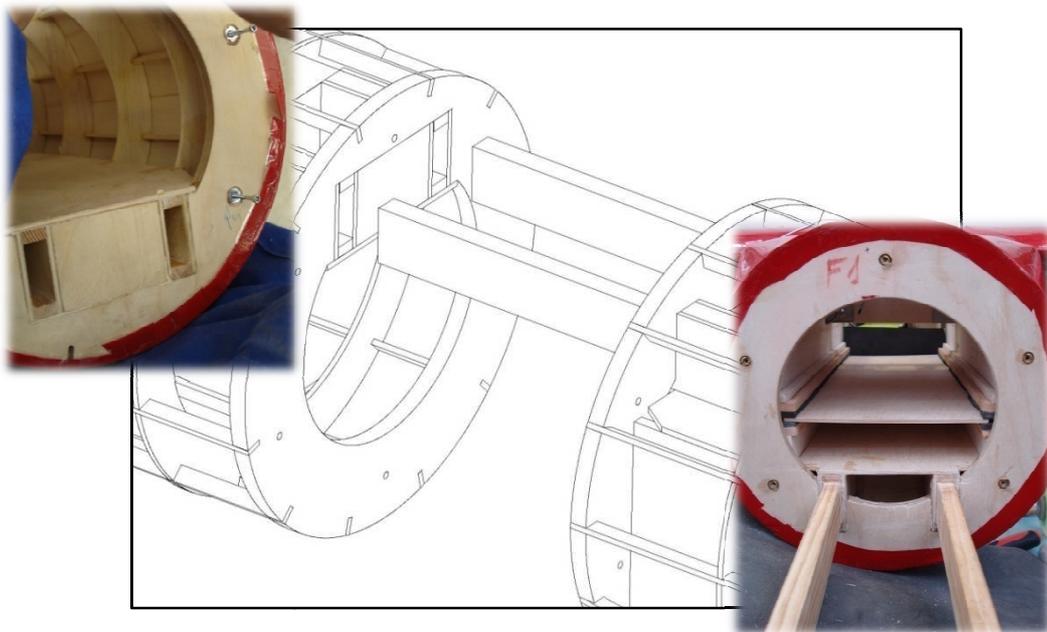


Imagen 8.23: Integración Morro - Fuselaje Central. Fuente: CATIA V5

Imagen 8.24 (superior): Cuaderna de unión Fuselaje de Morro – Fuselaje Central. Fuente: Elaboración propia

Imagen 8.25 (inferior): Cuaderna de unión Fuselaje Central – Fuselaje de Morro. Fuente: Elaboración propia

- Integración superficies de control - Extremos de Ala / Cola (como ejemplo se proponen las imágenes 8.26 y 8.27): La unión se establece mediante el uso de bisagras, cuyas pestañas encajan y se adhieren con epoxi en unas ranuras realizadas previamente (consultar epígrafe 7.1 *Componentes propios del UAV*). Adicionalmente se hace uso de alfileres para asegurar las uniones de las superficies de control (las cabezas en T son cortadas, una vez que se han clavado en la madera).

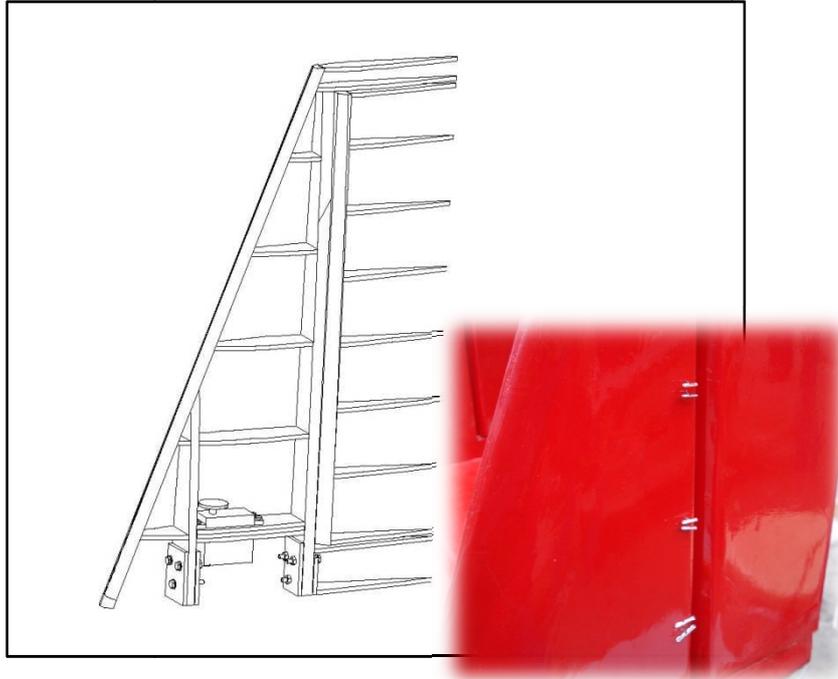


Imagen 8.26: Integración Timón de Dirección – Estabilizador Vertical. Fuente: CATIA V5
Imagen 8.27: Integración real del Timón de Dirección con el Estabilizador Vertical. Fuente: Elaboración propia

- Unión Extremos de Ala - Ala Central (imágenes 8.28 y 8.29): Se consigue por medio de la introducción de los largueros macho del Extremo de Ala en los hembra del Ala Central. Una vez introducidos, se accede por las compuertas de Flap del intradós del Extremo de Ala a la zona de unión, y se atornillan (tornillo, tuerca de clavar ubicada en el larguero macho y dos arandelas).

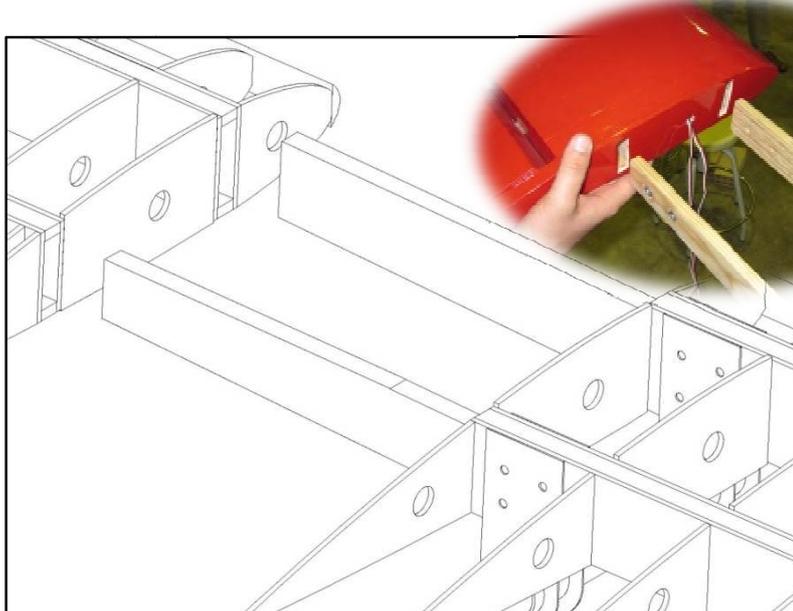


Imagen 8.28: Integración Extremo de Ala - Ala Central. Fuente: CATIA V5
Imagen 8.29 (superior): Integración real Extremo de Ala - Ala Central. Fuente: Elaboración propia

- Integración Tubos de Cola – Ala Central / Cola (imágenes 8.30-8.33): se realiza por medio de las conexiones de acero colocadas en el intradós de Ala Central y Estabilizador Horizontal, que han sido previamente soldadas e instaladas durante el proceso de construcción. La fijación se consigue por medio de dos uniones situadas en cada extremo (juegos de tornillo, tuerca, arandela y bloque de nylon).

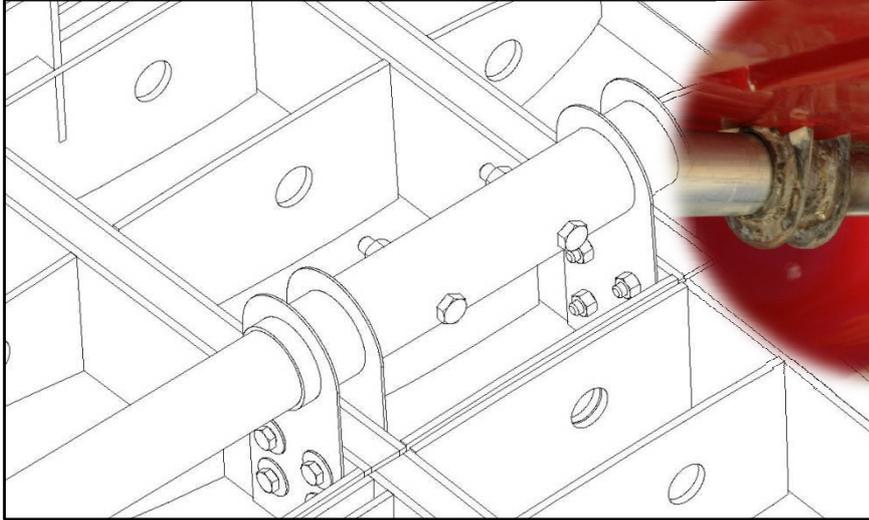


Imagen 8.30: Integración Tubo de Cola - Ala Central. Fuente: CATIA V5

Imagen 8.31 (superior): Integración real Tubo de Cola - Ala Central. Fuente: Elaboración propia

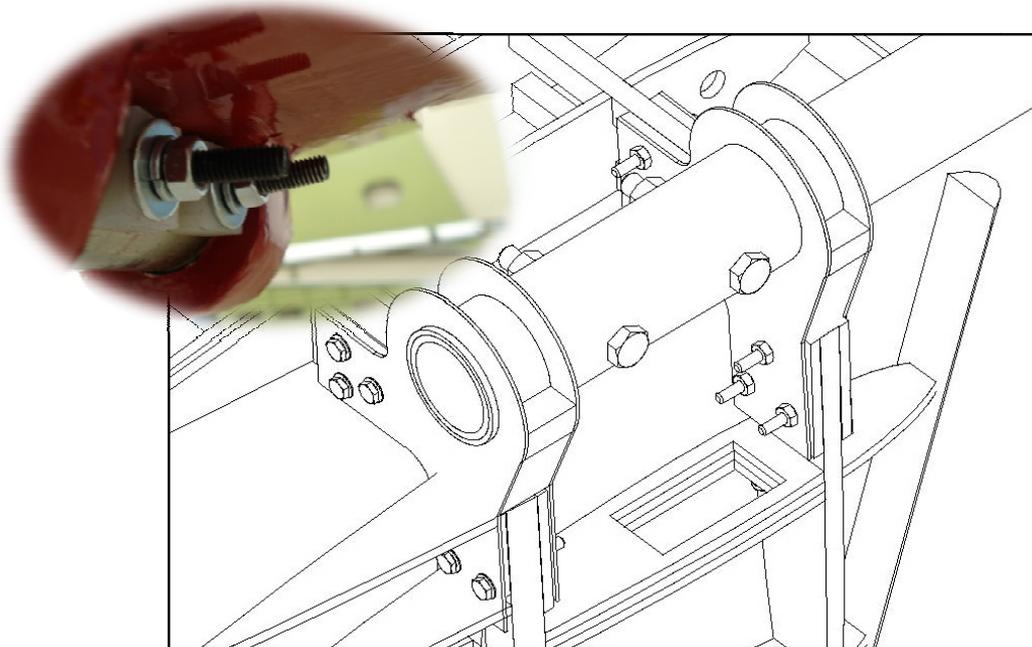


Imagen 8.32: Integración Tubo de Cola - Estabilizador Horizontal. Fuente: CATIA V5

Imagen 8.33 (superior): Integración real Tubo de Cola - Estabilizador Horizontal. Fuente: Elaboración propia

- Integración Ala Central – Fuselaje Principal (imágenes 8.34 y 8.35): Esta unión está realizada por medio de chapas de acero galvanizado que enlazan los largueros delantero y trasero del Ala Central con la parte superior de las cuadernas F5 y F7 (consultar plano CF-DOC/F1, epígrafe 5. Planos de configuración), que han sido construidas en contrachapado y reforzadas para curtir bien esta unión. El conjunto chapa – larguero + cuaderna – chapa es atravesado por 8 uniones tornillo-tuerca.

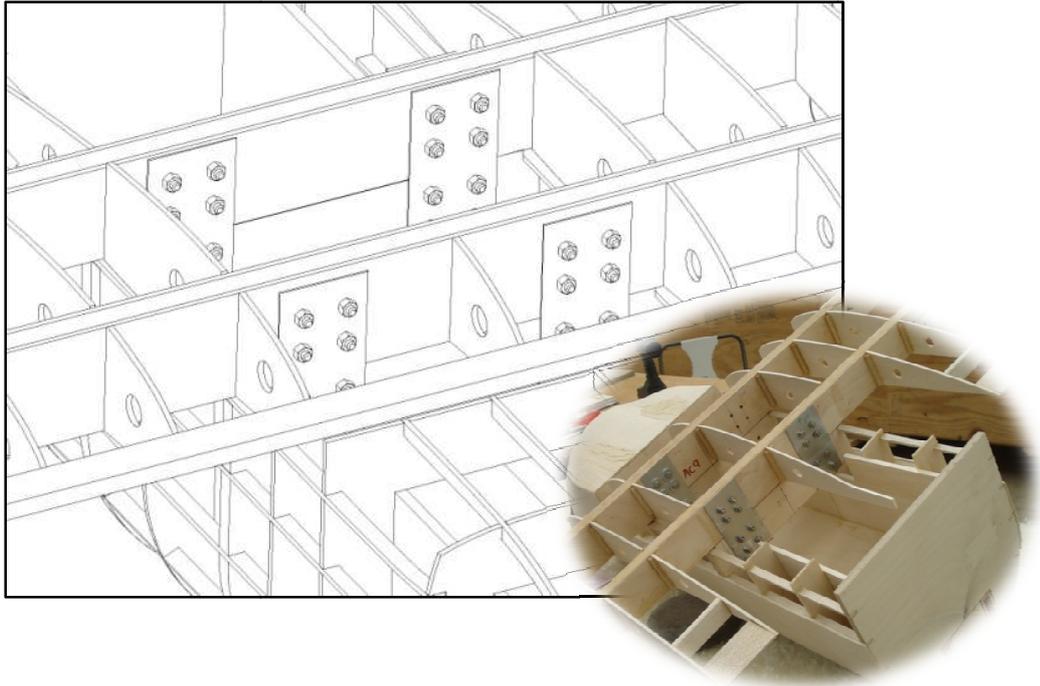


Imagen 8.34: Integración Ala Central – Fuselaje principal. Fuente: CATIA V5

Imagen 8.35: Integración real de Ala Central – Fuselaje principal. Fuente: Elaboración propia

- Integración Carga de Pago – Fuselaje de Morro (imagen 8.36): Como puede verificarse en los requisitos de diseño recogidos en el epígrafe 13.1 Anexo 1: Request for proposal (RFP), el UAV Céfiro ha sido diseñado para portar hasta 10 Kg de carga de pago, no obstante, este primer prototipo no lleva dicha carga, en su lugar, el [área de Estabilidad y Control \[39\]](#) ha dispuesto una plomada o lastre de 3,4 Kg para un correcto centrado de la aeronave. Para ubicar esta carga en la aeronave es necesario emprender las siguientes acciones:
 - o Tomar un plomo redondo de 3,4 Kg ([laboratorio de Ing. Aeroespacial](#))
 - o Preparar una tabla de pino de espesor 19 mm y cortar una sección cuyas dimensiones se ajusten lo mejor posible al suelo de Morro. En dicha sección, con ayuda de la máquina CNC, hacer un vaciado en su zona central, con el diámetro del plomo.
 - o Atornillar la pieza de pino al suelo de contrachapado de morro, y colocar el plomo dentro de su hueco. Para evitar que el plomo se deslice hacia arriba, disponer un par de piezas metálicas atornilladas tal y como muestra la imagen 8.36 (puntos marcados en negro). Este conjunto pesa finalmente 3,6 Kg.

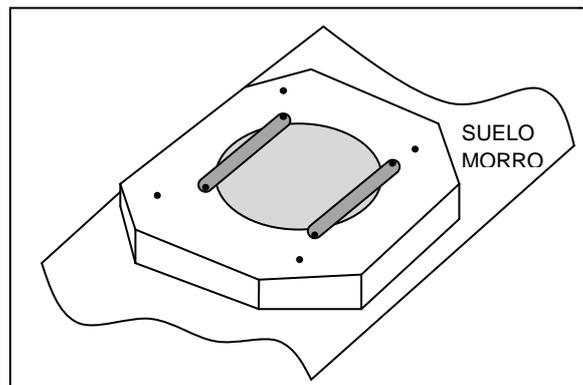


Imagen 8.36: Integración de la carga de pago.
Fuente: Elaboración propia

- Integración del bloque motor - **Cuaderna cortafuegos (imágenes 8.37-8.40)**: es sin lugar a dudas una de las acciones más complejas del proceso. Inicialmente se pensó en conectar el motor de forma directa, por medio de cuatro puntos, a la **cuaderna cortafuegos**, no obstante, las pruebas de rodaje de motor en **banco** (ver epígrafe 9.1 *Pruebas Funcionales realizadas*) revelaron que las vibraciones eran excesivamente altas y ello obligó a emplear los siguientes componentes (un razonamiento más detallado puede encontrarse en el epígrafe 9.2 *Resultados negativos de pruebas funcionales*):
 - o Placa de Aluminio (previamente realizada en CATIA V5 y mecanizada mediante CNC, [imagen 6.115](#))
 - o 4 Silent blocks que asientan sobre bloques separadores de Aluminio (ver [imagen 8.37](#)).
 - o 2 Amortiguadores (ver [imagen 8.39](#))

La integración final es la que se muestra en la [imagen 8.37](#):

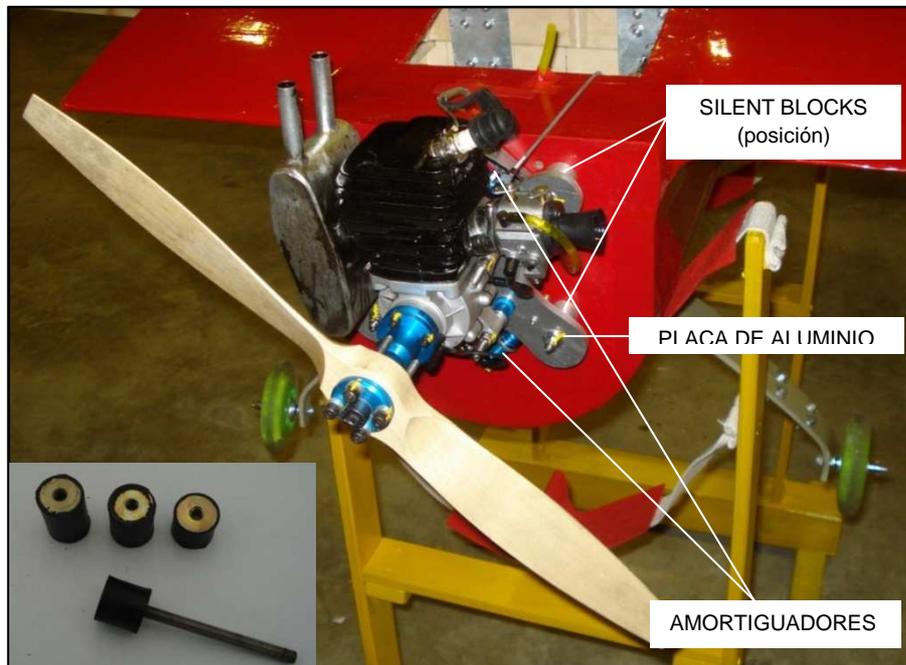


Imagen 8.37: Instalación del bloque motor (Detalle inferior izquierdo: Silent blocks de diferente longitud). Fuente: Elaboración propia

La instalación de forma esquemática es como la representada aquí debajo:

- o Puntos de unión más externos del motor con la placa de Al y el cortafuegos:

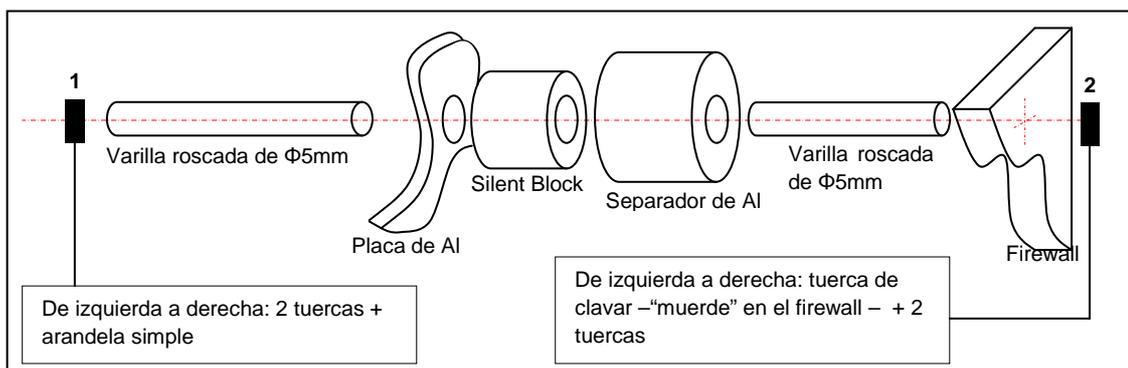


Imagen 8.38: Esquema de fijación Placa de Al - Firewall. Fuente: Elaboración propia

- Puntos de unión de amortiguadores (imagen 8.40): Pese a que la introducción de los silent blocks atenúan parte de las vibraciones que el motor transmite a la aeronave, no consiguen reducirla de forma efectiva. Por ello se emplean dos amortiguadores que se disponen en líneas tangentes a la circunferencia de acción del par motor (imagen 8.39). Para que la función de ambos sea efectiva se colocarán de forma que mientras uno actúe (se comprima) el otro recupere (se estira).



Imagen 8.39 (izquierda): Amortiguador + Escuadra / Imagen 8.40 (derecha): Ubicación de amortiguadores y silent blocks en Firewall. Fuente: Elaboración propia

- Puntos de unión del motor con la placa de Aluminio exclusivamente:

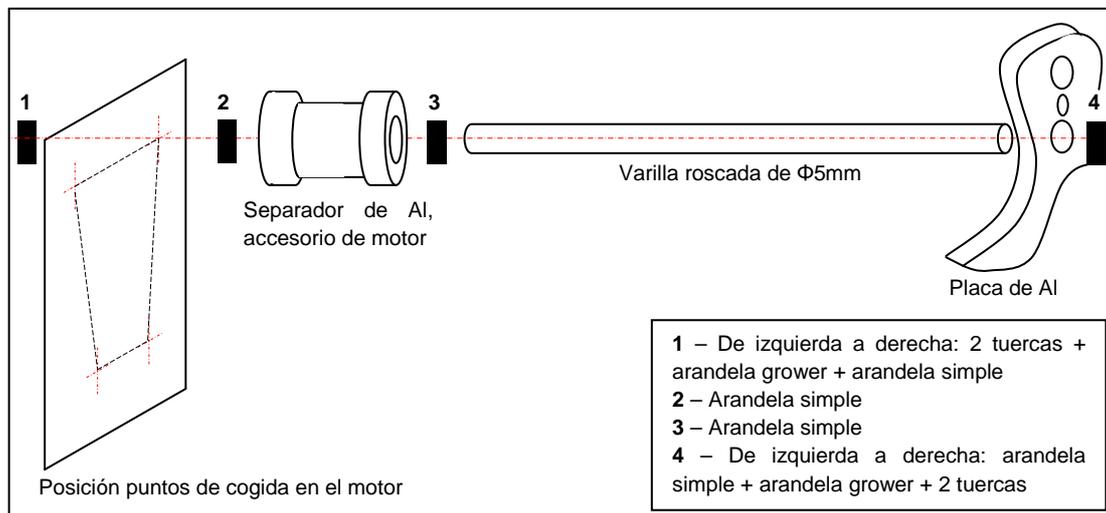


Imagen 8.41: Esquema de fijación Motor – Placa de Al. Fuente: Elaboración propia

Nota: La instalación de la planta de potencia en la aeronave ha sufrido modificaciones en su versión final (segundo vuelo del Céfire), no obstante, la necesidad de congelar el estado de avance de las modificaciones para la redacción de este proyecto no recoge dichas transformaciones.

De acuerdo con todo lo anterior, el resultado global de los procesos de integración estructural se muestra de forma gráfica en la imagen 8.42 de la página siguiente.

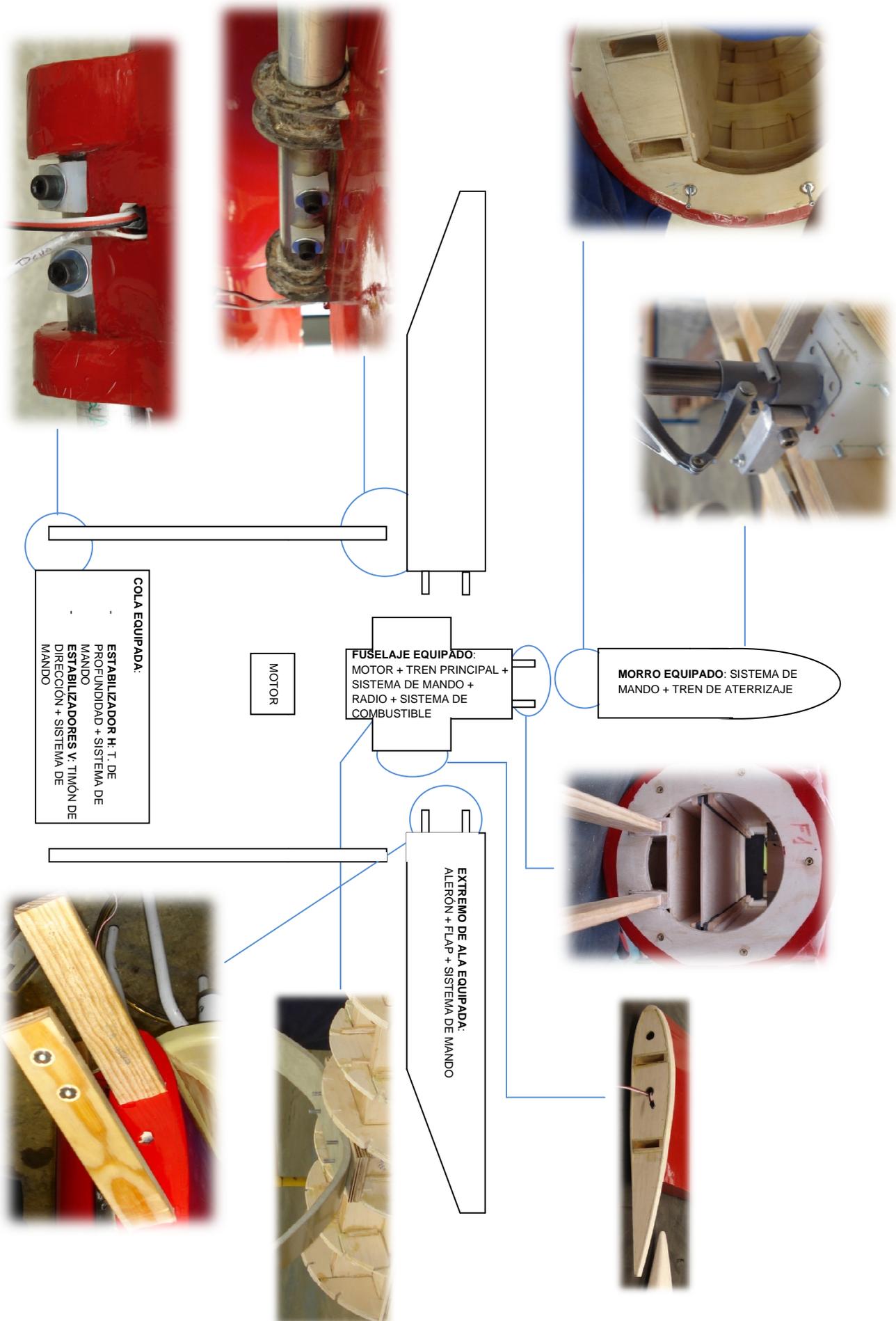


Imagen 8.42. Esquema de los procesos de integración en el UAV Céfire. Fuente: Elaboración propia

8.3 Procesos de integración de sistemas

Una vez analizado el equipamiento de los módulos que conforman el UAV con sus respectivos sistemas, y habiendo completado un estudio de su integración estructural, se describen los procesos interrelación a nivel de sistemas entre los distintos grupos estructurales.

8.3.1 Conexión del sistema de combustible

Las conexiones de combustible que enlazan el tanque de combustible con el carburador se distribuyen conforme al esquema de la imagen 8.43.

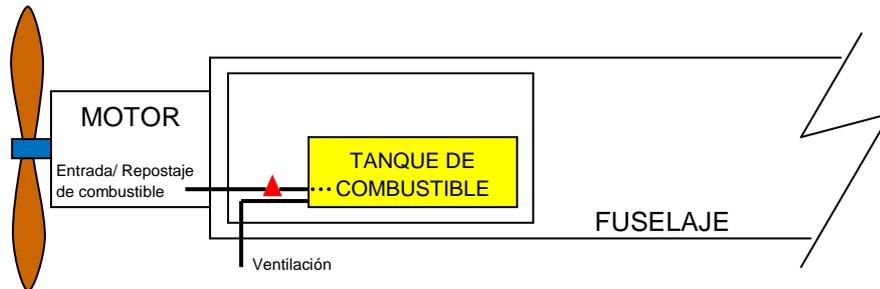


Imagen 8.43: Esquema del sistema de combustible. Fuente: Elaboración propia

Pese a lo simple del esquema anterior, en realidad hay que distinguir 3 segmentos:

1. Conducción interior al tanque de combustible
2. Conducción de combustible hacia el carburador
3. Ventilación, toma de aire

1) **Conducción interior al tanque de combustible**

Este segmento consta de la correspondiente sección flexible de silicona, más un elemento pesado (péndulo) (indicación de color roja en la imagen 8.44) que se acopla en su extremo, con objeto de que la toma de combustible quede siempre sumergida.



Imagen 8.44: Conducción interior al tanque. Fuente: Elaboración propia

2) Conducción de combustible hacia el carburador

Esta conexión consta de tres segmentos flexibles de silicona enlazados sucesivamente mediante: la válvula de paso, el filtro y el carburador (imágenes 8.45 y 8.46). Por seguridad, cada enlace está asegurado con clips de acero (véase la imagen 7.9).

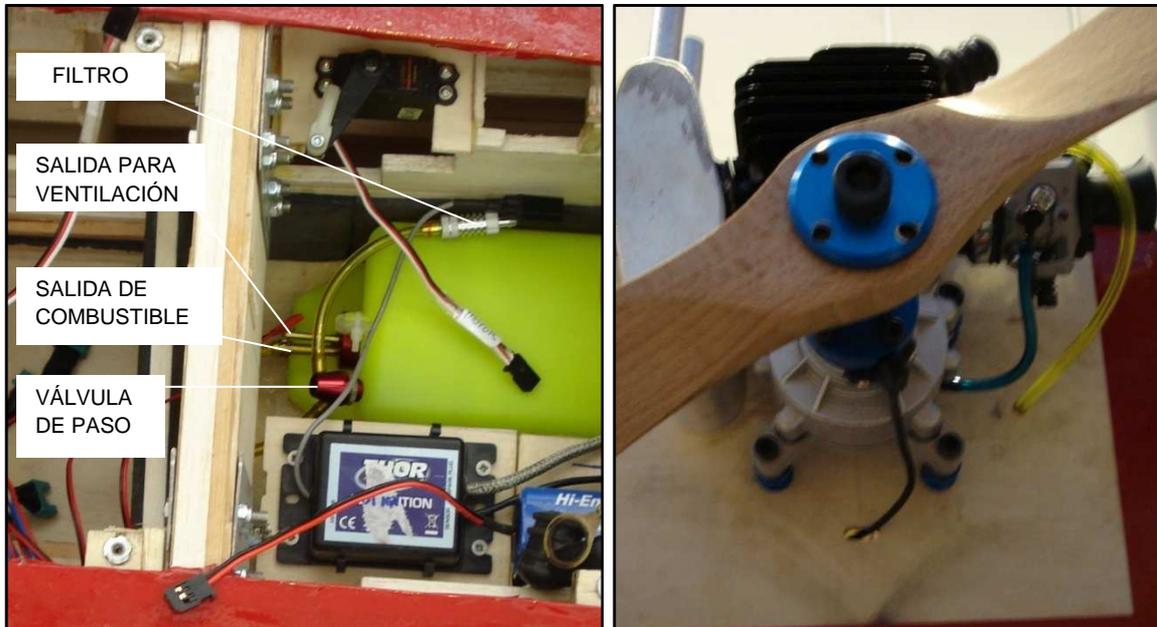


Imagen 8.45 (izquierda): Conducción de combustible hacia carburador / Imagen 8.46 (derecha): Salida a través del Firewall, del tubo de alimentación. También se aprecia el tubo de conexión del carburador con la cámara de combustión. Fuente: Elaboración propia

3) Ventilación

La salida de ventilación, que puede apreciarse en la imagen 8.45, es necesaria para evitar problemas de depresión en el interior del tanque. El conducto de ventilación se dirige hacia la parte superior del fuselaje, donde se ha abierto un agujero para su salida (obsérvese la imagen 8.37).

El punto de encuentro de los tres segmentos anteriores es el tapón del tanque de combustible (imagen 8.47), que consiste en: un taco de goma con dos agujeros, una cubierta de Aluminio que alberga a dicho taco y dos tubos de Latón, a los que van conectados las conducciones descritas anteriormente en los puntos 1) y 3), que entran en los agujero del mencionado taco.



Imagen 8.47: Tapón del tanque de un tanque de combustible.
Fuente: [12]

La funcionalidad de los tubos de Latón es salvar las eventuales estrangulaciones en el paso de combustible que pudieran producirse en la sección del tapón del tanque si las conducciones de silicona conectaran directamente con él.

Como comentario adicional se señala que el tubo de Latón correspondiente a la ventilación, está doblado hacia arriba para evitar la entrada accidental de combustible durante las maniobras de vuelo (ver imagen 8.48).

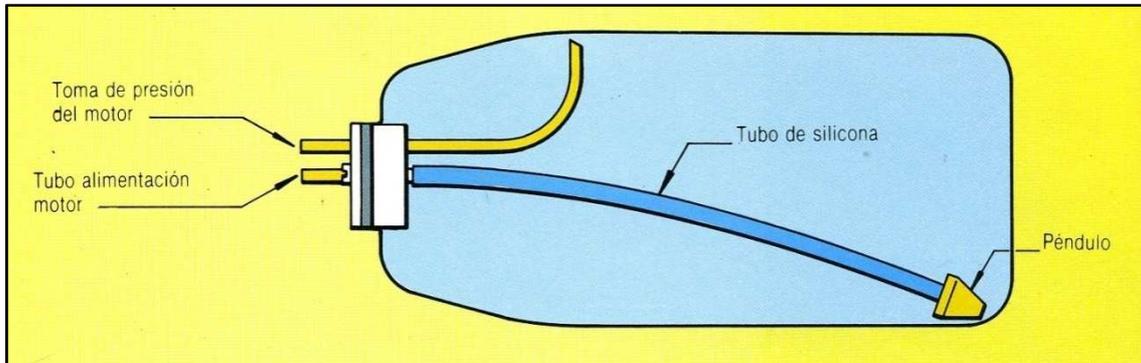


Imagen 8.48: Esquema de las conexiones en un tanque de combustible.
Fuente: [12]

8.3.2 Conexión del sistema eléctrico

En este punto se trata la integración de los sistemas de comunicaciones y de mandos (de vuelo, de motor y de dirección del tren auxiliar) a nivel de conexiones eléctricas.

Como se apuntó con anterioridad el receptor es un elemento clave en la aeronave, ya que intercepta el campo electromagnético radiado por el transmisor (emisora) en forma secuencial de tren de impulsos a su entrada, y los separa en distintas salidas, que en este receptor son 9 (de los cuales sólo se usan 8 canales). Las conexiones eléctricas en el UAV se esquematizan en la imagen 8.49:

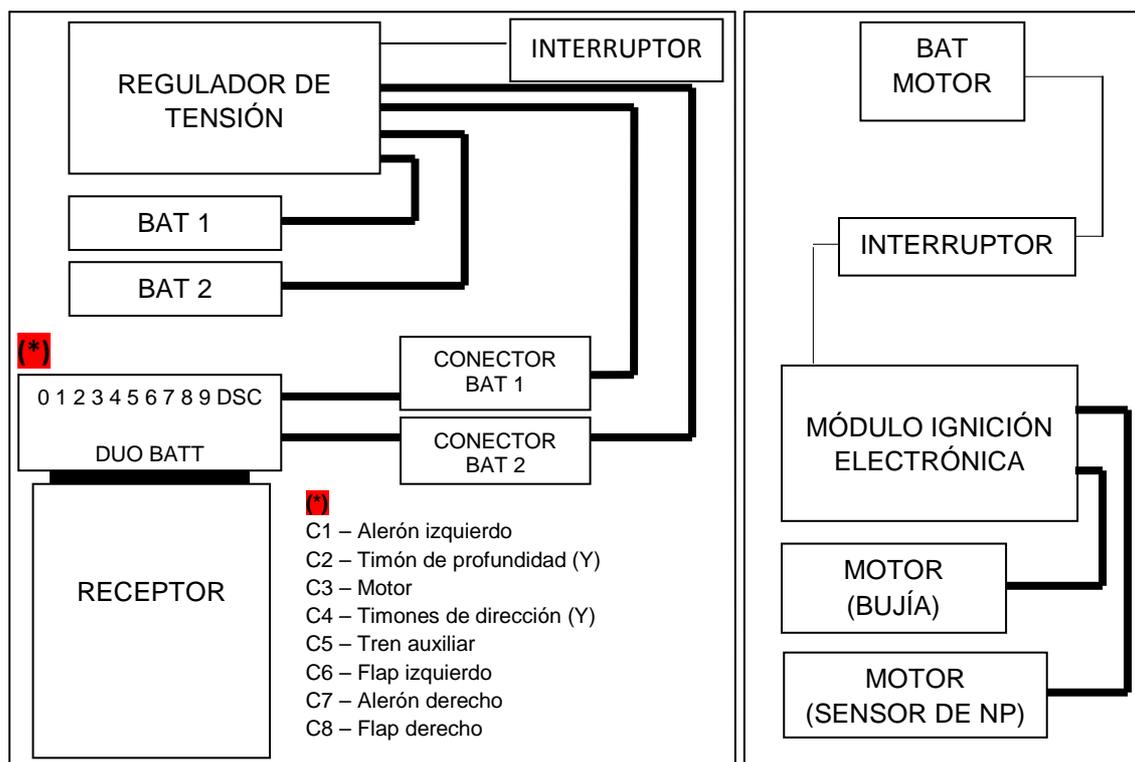


Imagen 8.49: Esquema eléctrico del UAV Céfiro. Fuente: Elaboración propia

Nota: El esquema de conexiones eléctricas que muestra la imagen 8.48 ha sufrido modificaciones en su versión final (segundo vuelo del Céfiro), no obstante, la necesidad de congelar el estado de avance de las modificaciones para la redacción de este proyecto no recoge dichas transformaciones.

A continuación se expone cómo se realizan las conexiones anteriores y por dónde se conducen:

- Integración del sistema eléctrico de Fuselaje de Morro con el de Fuselaje Principal (Conexiones del servo de Tren Auxiliar con el receptor): se emplean dos extensiones de cable con conectores simples, que se colocan agarradas a la pared del Fuselaje de Morro por medio de bridas con base adhesiva (imagen 13.43).
- Integración sistema eléctrico de Extremos de Ala con el de Fuselaje Principal (Conexiones de servos de Alerón y Flap con el receptor) (imágenes 8.50 y 8.51): se utilizan extensiones de cable con conectores simples que son conducidos por canalizaciones de plástico que atraviesan las costillas del ala en su zona anterior. Estas conducciones son necesarias para poder reemplazar los servomotores una vez cerrados los Extremos de Ala.

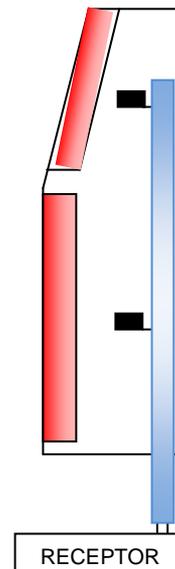
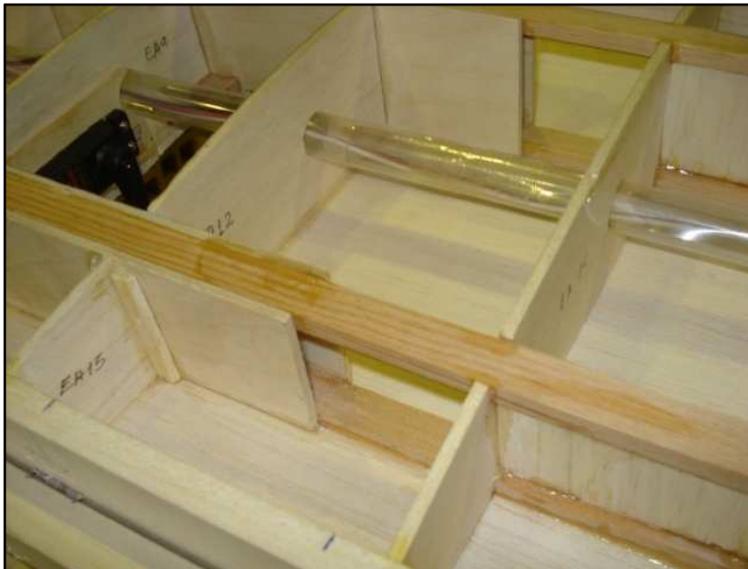


Imagen 8.50 (izquierda): Conducción de los cables de señal de alerón y flap / Imagen 8.51 (derecha): Esquema de conexiones de servos de Extremo de Ala con receptor. Fuente: Elaboración propia

- Integración del sistema eléctrico de Cola con el de Fuselaje Principal (Conexiones de los servos del timón de profundidad y de los timones de dirección con el receptor) (imagen 8.52): se usan extensiones de cable para salvar la longitud de los tubos de cola. La conexión con el receptor se realiza por medio de extensiones en Y, para los dos servos que actúan el timón de profundidad y los dos que mueven los timones de dirección (observar el esquema bajo estas líneas).

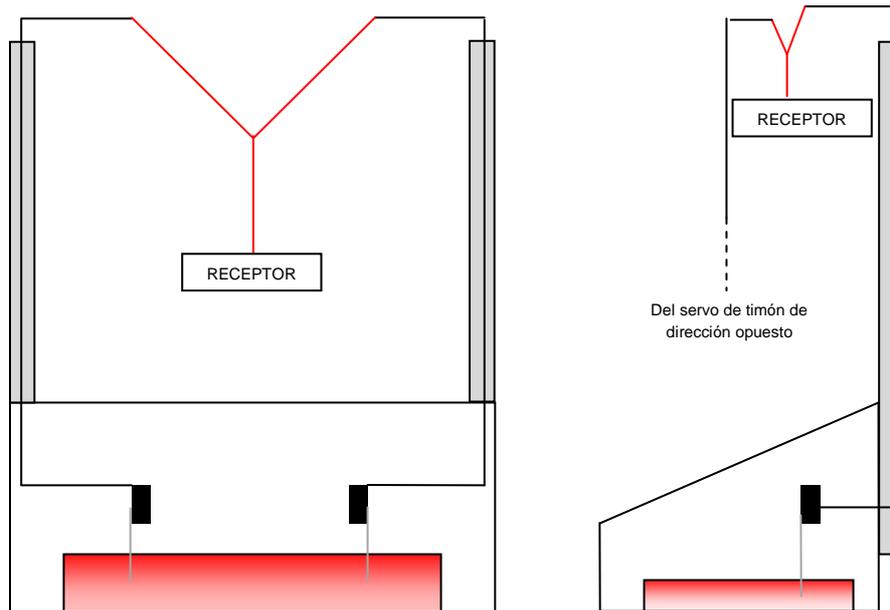


Imagen 8.52: Esquema de conexiones de servos de cola con receptor.
Fuente: Elaboración propia

- Conexión del sistema eléctrico de planta de potencia con el receptor (imágenes 8.53 y 8.54): esta integración permite tener control sobre la palometa del carburador que regula la entrada de combustible (palanca de potencia o de gases). Se trata de enlazar el servo que comanda esta potencia con el receptor. (El esquema de la imagen 8.53 incluye además la distribución del resto del sistema eléctrico vinculado a la planta de potencia: interruptor de encendido, batería de motor y módulo de ignición electrónica).

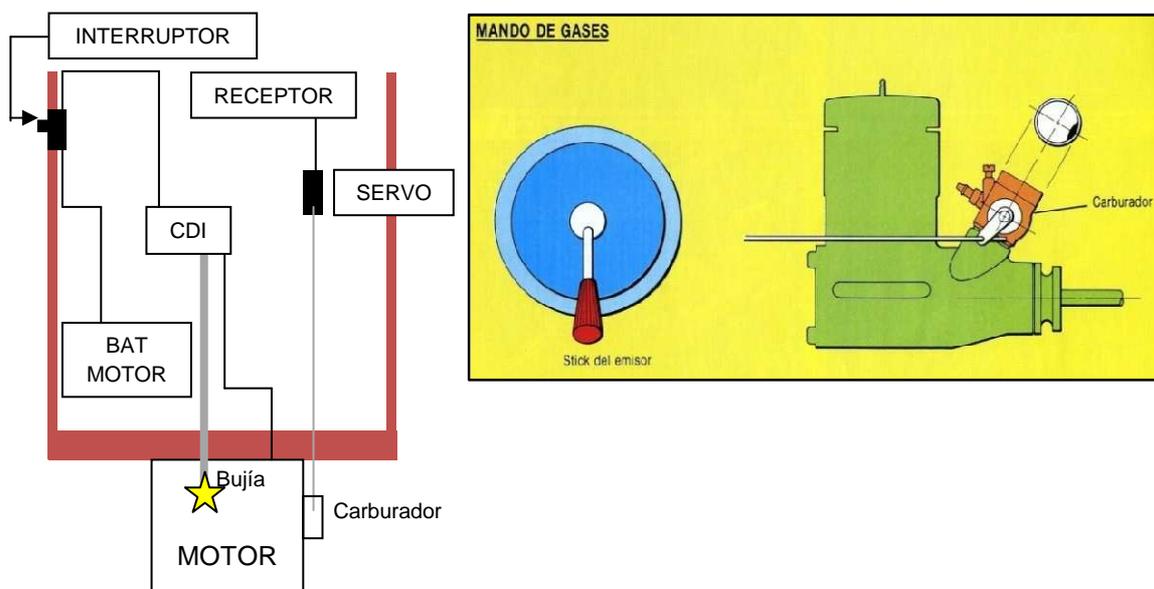


Imagen 8.53: Conexión del sistema electrónico de motor. Fuente: Elaboración propia
Imagen 8.54: Mando de gases. Fuente: [12]

Nota: En el esquema anterior la posición de los elementos no presenta exactitud alguna, solo son aproximadas.

Para finalizar esta sección no se debe olvidar que la antena de recepción debe encontrarse completamente extendida para captar la señal de la emisora con la mayor eficiencia posible. La solución adoptada, consiste en desplegar el cable de antena a lo largo del Fuselaje, pegada al mismo y recubierta por una tira de cinta aislante roja (ver imagen 8.55).



Imagen 8.55: Disposición del cable de antena de recepción. Fuente: Elaboración propia

9. Pruebas Funcionales⁹

De forma breve y concisa una prueba funcional (PF) [se puede definir](#) como una pauta de verificación, ampliamente documentada, que mediante la ejecución de un proceso, comprueba que se cumplen los requerimientos que demuestran que el producto es apto para el servicio.

Las pruebas funcionales que se aplican a un avión, son numerosas y complejas, distinguiendo en su aplicación si se efectúan sobre Estructuras (continuidad, estanqueidad...), sobre sistemas parcialmente montados (actuación de bombas de combustible, válvulas, indicación...) o sobre sistemas completos (Pruebas funcionales eléctricas, mecánicas, hidráulicas, neumáticas y electrónicas). Por consiguiente deben estar integradas dentro del proceso de productivo como un proceso más a realizar, y por ello deben considerarse múltiples condiciones de contorno con respecto al proceso global. [Efectivamente, hay que tener en cuenta factores como los siguientes:](#)

- El lugar: existen pruebas que se realizan dentro de hangar *-indoor-* y otras que se ejecutan en el exterior *-outdoor-*.
- El estado del avión: el sistema debe estar completamente montado para efectuar su comprobación.
- Aspectos de secuenciación y paralelización con respecto a:

1. Otras pruebas funcionales, ya que debe identificarse el orden de ejecución de las pruebas, y debe limitarse el número de pruebas funcionales que se realizan simultáneamente.
2. Otros procesos industriales la consideración del resto de actividades relacionadas con el avión y su correcta ordenación en relación a las pruebas, es básico dentro de la gestión de procesos).

En las siguientes secciones se detallan las pruebas funcionales efectuadas para el UAV Céfire 01, así como también algunos problemas surgidos al desarrollar las mismas.

9.1 Pruebas funcionales realizadas

La complejidad en el sistema de clasificación y aplicación de las pruebas va mucho más allá de lo indicado en la introducción de este epígrafe y de las pretensiones de este punto, sin embargo, lo que sí se quiere es dar una [visión global de las pruebas realizadas y una breve descripción de cómo se han desarrollado](#).

Dada la simplicidad de los sistemas de este UAV las pruebas realizadas son tan sólo:

A. Pruebas *Indoor*

- Continuidad de la instalación de cableado
- Reglaje de mandos de vuelo, [Timón de Profundidad](#)
- Reglaje de mandos de vuelo, [Timones de Dirección](#)
- Reglaje de mandos de vuelo, [Alerones](#)
- Reglaje de Flaps

⁹ Este epígrafe está basado en

[12] Andrés Aylagas, et al. "Aeromodelismo y radiocontrol. Enciclopedia Práctica". Hobby Press, S.A. Madrid 1984
[35] Antonio Corrales Domínguez "Apuntes de Integración de Sistemas y Pruebas Funcionales", Sevilla, curso 2007/2008

- Reglaje del mando de dirección de Tren Auxiliar
- Barrido de ángulos de deflexión de Alerones
- Barrido de ángulos de deflexión del Timón de Profundidad
- Barrido de ángulos de deflexión de los Timones de Dirección
- Respuesta de la dirección del Tren Auxiliar
- Actuación de Flaps
- Pesaje del UAV

B. Pruebas *Outdoor*

- Rodaje de motor en banco
- Funcionamiento de los sistemas con el motor en marcha
- Rango de captación de la señal radiada por la emisora

El objetivo del conjunto de pruebas a realizar es doble:

- 1) Demostrar que los sistemas del avión funcionan correctamente de forma autónoma.
- 2) Desde el punto de vista de la integración de sistemas se pretende asegurar todas y cada una de las uniones funcionales entre los mismos.

De forma genérica, todas las pruebas obedecerán a una característica interna, es decir, tienen una estructura básica común y unos contenidos mínimos, que son:

1. Objetivo de la prueba funcional: propósito de la prueba.
2. Documentación de referencia: documentos (planos, manuales, etc.) en los que se basa la prueba.
3. Equipos empleados: útiles necesarios para realizar la prueba.
4. Preparación preliminar: pautas de comprobación y seguridad previas a la ejecución de la prueba.
5. Descripción de la prueba: ejecución de la prueba paso a paso.
6. Resumen de resultados: exposición de los resultados de la prueba. En este punto es habitual introducir tablas que han de ser rellenadas para demostrar que la prueba se ha llevado a cabo con éxito, o por el contrario, da resultados no aceptables y ha de ser repetida (en este epígrafe, no obstante, se van a exponer los resultados obtenidos, excepto en aquellos casos en que la prueba es muy sencilla y no hace falta recoger datos de ningún tipo, donde se indicará "No aplicable").
7. Anexo: recoge ilustraciones y/o fotografías asociadas a los útiles a emplear, a partes de la aeronave y al proceso de ejecución de la prueba.

De acuerdo con esto y en la medida de lo posible (sin excesiva rigurosidad; toda información necesaria para la prueba debe incluirse en su documento, no obstante, dicha información es posible que ya se haya expuesto en otros epígrafes. En ese caso se indicará dónde acudir para acceder a ella, aunque hay que recalcar que lo correcto es que figure en la propia prueba), el objeto de este epígrafe es documentar todas las pruebas que se han identificado como necesarias, de forma que sean implementadas en futuras versiones del Céfire, aunque previamente deberán ser revisadas y actualizadas para adaptarlas a los nuevos sistemas que se hubieren integrado.

Las pruebas enunciadas anteriormente se desarrollan como sigue:

A. Pruebas *Indoor*

Prueba Funcional. Continuidad de la instalación de cableado

1. Objetivo

En esta prueba se desea comprobar que las conexiones del sistema de mandos (de vuelo y dirección de la rueda de morro) de la aeronave funcionan, se verifica el correcto estado del cableado y la instalación eléctrica entre los distintos componentes del sistema de mandos. Se valida el funcionamiento del sistema de comunicaciones embarcado (*sin motor*).

2. Documentación de referencia

Manual de la emisora Futaba T9CP Super PCM1024 (*consultar la web <<http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>>*).

3. Equipos empleados

Cables de conexión para servo de diferentes longitudes, con conectores simples y en Y (*imágenes 7.23 y 7.24*).

Polímetro.

Emisora Futaba T9CP Super PCM1024 (*imagen 7.59*).

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 *Comprobar* que todas las conexiones están bien realizadas (conforme a lo estipulado en el epígrafe 8.3.2 *Conexión del sistema eléctrico*).

4.1.2 Comprobar con el polímetro que las baterías han sido previamente cargadas (*el valor medido debe ser próximo a 7 v*), y que no se aprecian síntomas de hinchazón en las mismas.

4.2 Instrucciones de seguridad

4.2.1 No golpear las baterías ya que pueden inutilizarse o explotar si están en mal estado.

5. Descripción de la prueba

5.1 Realizar las conexiones en los canales de receptor tal y como se indica en el epígrafe 8.3.2 *Conexión del sistema eléctrico*.

5.2 Conectar la emisora (*la imagen 9.4 adjuntada en el Anexo muestra los controles de la emisora empleados en el primer vuelo del Céfire*).

5.3 Conectar el interruptor del regulador de tensión

5.4 Efectuar el control de movimiento para todas las superficies de control (para ello puede ejecutarse el programa de test de servos de la emisora) y verificar que no existen anomalías (*retardos o no ejecución de las órdenes transmitidas*).

5.5 Efectuar el control de movimiento del Tren Auxiliar, *comprobando que se mueve conforme a las órdenes comandadas por la emisora*.

6. Resumen de resultados

No aplicable.

7. Anexo

En este punto se adjuntan las imágenes 9.1-9.3 del proceso de ejecución de la prueba así como también una ilustración de los controles empleados para este UAV (imagen 9.4).



Imagen 9.1: Prueba Funcional del sistema de mandos de vuelo del UAV Céfiro.
Fuente: Elaboración propia



Imagen 9.2 (izquierda): Conexiones de las superficies de control de Alas / Imagen 9.3 (derecha): Conexiones de las superficies de control de Cola. Fuente: Elaboración propia

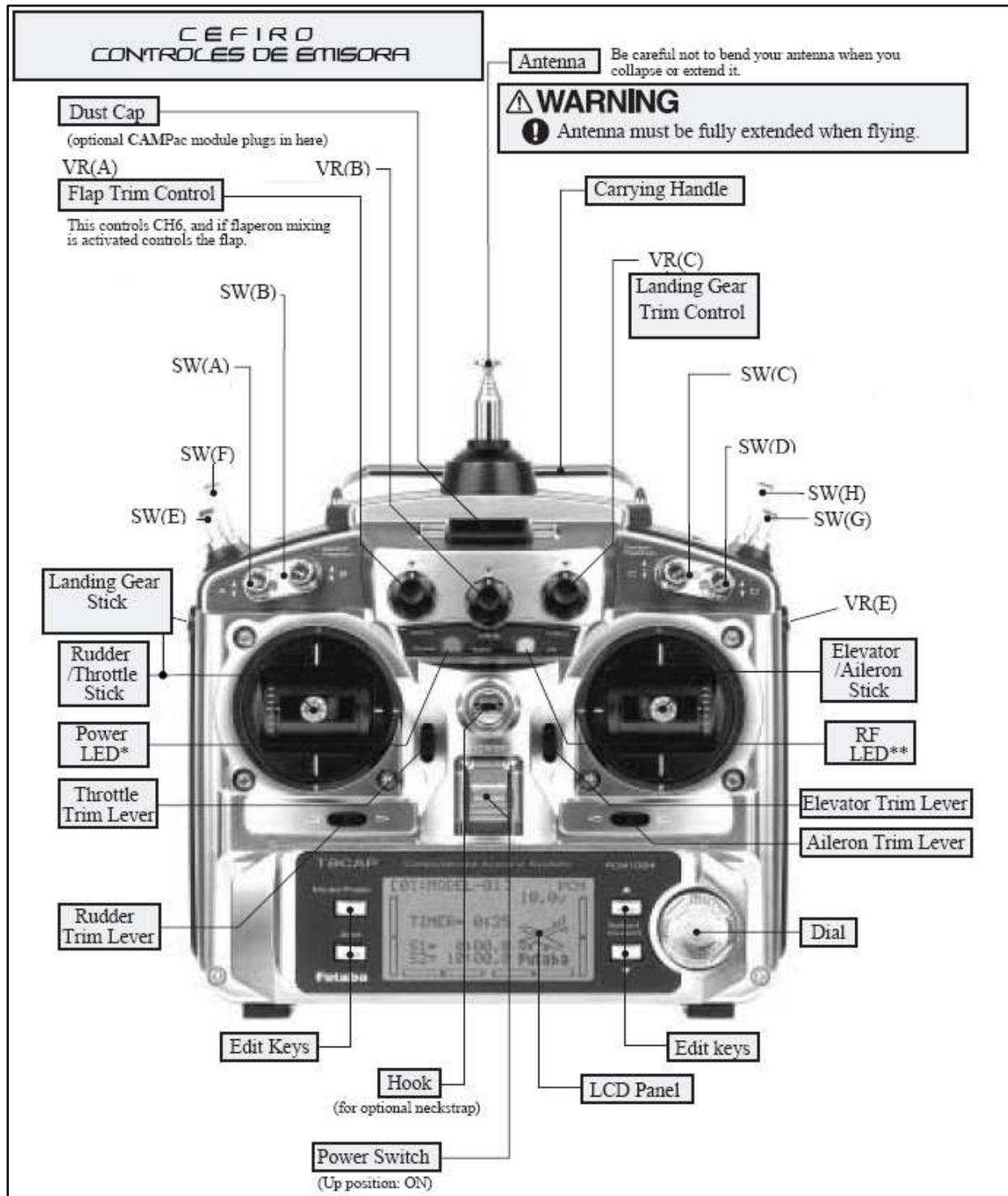


Imagen 9.4: Controles de la emisora Futaba T9CP Super PCM 1024 para UAV Céfire. Fuente: Elaboración propia a partir del manual de la emisora

Nota: Las palancas que no tienen insertado ningún comentario en la imagen 9.4, no se han empleado.

Prueba Funcional. Reglaje de mandos de vuelo, Timón de Profundidad

1. Objetivo

Alineamiento del Timón de Profundidad con el borde de salida del Estabilizador Horizontal (puesta a cero) y reglaje del ángulo de esta superficie.

2. Documentación de referencia

Manual del excitador de servos EF de Vexa Control (véase epígrafe 13.6 ANEXO 6: *Manual del excitador de servos*).

3. Equipos empleados

Juego de llaves Allen.

Excitador de servos (imagen 7.60).

Medidor de deflexión (imagen 7.67).

Alicates.

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Comprobar que el Timón de Profundidad puede moverse libremente (su movimiento no es obstaculizado por nada).

4.1.2 Verificar que todos los elementos de cadena cinemática de transmisión están correctamente instalados.

4.1.3 Inspeccionar visualmente las bisagras y confirmar que están en buen estado.

5. Descripción de la prueba

Nota: Repetir los siguientes pasos para cada uno de los servos del Timón de Profundidad.

5.1 Colocar la Cola en una zona despejada donde pueda trabajarse cómodamente.

5.2 Conectar el excitador de servos al servo de Timón de Profundidad.

5.3 Con el excitador de servos situar el servo a 0°.

5.4 Montar, con llave Allen, la cogida de la varilla de transmisión con la **escuadra** de mando (ligeramente aflojada).

5.5 Con el excitador de servos regular la deflexión del Timón de Profundidad en sus posiciones extremas ($\pm 30^\circ$). Para comprobar esos ángulos, emplear el medidor de deflexión.

5.6 Apretar, con llave Allen, el tornillo de sujeción varilla de transmisión – escuadra de mando en el punto adecuado para alcanzar las deflexiones anteriormente establecidas (**siempre tratando de evitar tensiones mecánicas en la cadena cinemática**).

5.7 Comprobar que el Timón de Profundidad se puede mover correctamente, sin enganches, ni durezas.

5.8 Cortar el sobrante de varilla de mando con los alicates.

6. Resumen de resultados

No aplicable.

7. Anexo

Instantánea tomada durante el proceso de reglaje del Timón de Profundidad. Como puede apreciarse, se está acortando con alicates la longitud de la varilla de transmisión para ajustar la deflexión al valor requerido.



Imagen 9.5: Reglaje de mandos de vuelo, Timón de Profundidad.
Fuente: Elaboración propia

Prueba Funcional. Reglaje de mandos de vuelo, Timones de Dirección

1. Objetivo

Alineamiento de los Timones de Dirección con el borde de salida de los Estabilizadores Verticales (puesta a cero) y reglaje del ángulo de estas superficies.

2. Documentación de referencia

Manual del excitador de servos EF de Vexa Control (véase epígrafe 13.6 ANEXO 6: *Manual del excitador de servos*).

3. Equipos empleados

Juego de llaves Allen.
Excitador de servos (imagen 7.60).
Medidor de deflexión (imagen 7.67).
Alicates.

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

- 4.1.1 Comprobar que los Timones de Dirección pueden moverse libremente (su movimiento no es obstaculizado por nada).
- 4.1.2 Verificar que todos los elementos de cadena cinemática de transmisión están correctamente instalados.
- 4.1.3 Inspeccionar visualmente las bisagras y confirmar que están en buen estado.

5. Descripción de la prueba

Nota: Repetir los siguientes pasos para cada uno de los Timones de Dirección.

- 5.1 Colocar la Cola en una zona despejada donde pueda trabajarse cómodamente.
- 5.2 Conectar el excitador de servos al servo de Timón de Dirección.
- 5.3 Con el excitador de servos situar el servo a 0°.
- 5.4 Montar, con llave Allen, la cogida de la varilla de transmisión con la escuadra de mando (ligeramente aflojada).
- 5.5 Con el excitador de servos regular la deflexión del Timón de Dirección en sus posiciones extremas ($\pm 30^\circ$). Para comprobar esos ángulos, emplear el medidor de deflexión.
- 5.6 Apretar, con llave Allen, el tornillo de sujeción varilla de transmisión – escuadra de mando en el punto adecuado para alcanzar las deflexiones anteriormente establecidas (siempre evitar tensiones mecánicas en la cadena cinemática).
- 5.6 Comprobar que el Timón de Dirección se puede mover correctamente, sin enganches, ni durezas.
- 5.8 Cortar el sobrante de varilla de mando con los alicates.

6. Resumen de resultados

No aplicable.

Prueba Funcional. Reglaje de mandos de vuelo, Alerones

1. Objetivo

Alineamiento de los Alerones con el borde de salida de los Extremos de Ala (puesta a cero) y reglaje del ángulo de estas superficies.

2. Documentación de referencia

Manual del excitador de servos EF de Vexa Control (véase epígrafe 13.6 ANEXO 6: *Manual del excitador de servos*).

3. Equipos empleados

Juego de llaves Allen.
Excitador de servos (imagen 7.60).
Medidor de deflexión (imagen 7.67).
Alicates.

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

- 4.1.1 Comprobar que los Alerones pueden moverse libremente (su movimiento no es obstaculizado por nada).
- 4.1.2 Verificar que todos los elementos de cadena cinemática de transmisión están correctamente instalados.
- 4.1.3 Inspeccionar visualmente las bisagras y confirmar que están en buen estado.

5. Descripción de la prueba

Nota: Repetir los siguientes pasos para cada uno de los Extremos de Ala.

- 5.1 Colocar el Extremo de Ala en una zona libre donde el Alerón pueda moverse sin dificultades.
- 5.2 Conectar el excitador de servos al servo de Alerón.
- 5.3 Con el excitador de servos situar el servo a 0°.
- 5.4 Montar, con llave Allen, la cogida de la varilla de transmisión con la **escuadra** de mando (ligeramente aflojada).
- 5.5 Con el excitador de servos regular la deflexión del Alerón en sus posiciones extremas ($\pm 25^\circ$). Para comprobar esos ángulos, emplear el medidor de deflexión.
- 5.6 Apretar, con llave Allen, el tornillo de sujeción varilla de transmisión – escuadra de mando en el punto adecuado para alcanzar as deflexiones anteriormente establecidas (siempre evitar tensiones mecánicas en la cadena cinemática).
- 5.7 Comprobar que el Alerón se puede mover correctamente, sin enganches, ni durezas.
- 5.8 Cortar el sobrante de varilla de mando con los alicates.

6. Resumen de resultados

No aplicable.

Prueba Funcional. Reglaje de Flaps

1. Objetivo

Alineamiento de los Flaps con el borde de salida de los Extremos de Ala (puesta a cero) y reglaje del ángulo de estas superficies.

2. Documentación de referencia

Manual del excitador de servos EF de Vexa Control (véase epígrafe 13.6 ANEXO 6: *Manual del excitador de servos*).

3. Equipos empleados

Juego de llaves Allen.
Excitador de servos (imagen 7.60).
Medidor de deflexión (imagen 7.67).
Alicates.

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

- 4.1.1 Comprobar que los Flaps pueden moverse libremente (su movimiento no es obstaculizado por nada).
- 4.1.2 Verificar que todos los elementos de cadena cinemática de transmisión están correctamente instalados.
- 4.1.3 Inspeccionar visualmente las bisagras y confirmar que están en buen estado.

5. Descripción de la prueba

Nota: Repetir los siguientes pasos para cada uno de los Flaps.

- 5.1 Colocar el Extremo de Ala en una zona despejada donde pueda trabajarse cómodamente.
- 5.2 Conectar el excitador de servos al servo de Flap.
- 5.3 Con el excitador de servos situar el servo a 0°.
- 5.4 Montar, con llave Allen, la cogida de la varilla de transmisión con la escuadra de mando (ligeramente aflojada).
- 5.5 Con el excitador de servos regular la deflexión del Flap en su posición extrema ($\pm 30^\circ$). Para comprobar este ángulo, emplear el medidor de deflexión.
- 5.6 Apretar, con llave Allen, el tornillo de sujeción varilla de transmisión – escuadra de mando en el punto adecuado para alcanzar la deflexión anteriormente establecida (siempre evitar tensiones mecánicas en la cadena cinemática).
- 5.7 Comprobar que el Flap se puede mover correctamente, sin enganches, ni durezas.
- 5.8 Cortar el sobrante de varilla de mando con los alicates.

6. Resumen de resultados

No aplicable.

Prueba Funcional. Reglaje del mando de dirección de Tren Auxiliar

1. Objetivo

Alineamiento del Tren Auxiliar con el eje longitudinal de Fuselaje y reglaje del ángulo de recorrido del mismo.

2. Documentación de referencia

Manual del excitador de servos EF de Vexa Control (véase epígrafe 13.6 ANEXO 6: *Manual del excitador de servos*).

3. Equipos empleados

Juego de llaves Allen.

Excitador de servos (imagen 7.60).

Alicates (imagen 7.67).

Soportes para mantener el avión en alto (imagen 9.6 del Anexo de la prueba).

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Comprobar que el tren pueden moverse libremente (su movimiento no es obstaculizado por nada).

4.1.2 Verificar que todos los elementos de cadena cinemática de transmisión están correctamente instalados.

4.1.3 Inspeccionar visualmente las uniones atornilladas y ratificar que están en buen estado y correctamente instaladas.

5. Descripción de la prueba

5.1 Colocar el avión, o la sección de morro en los soportes de elevación (ver imagen 9.6 del Anexo de la prueba).

5.2 Conectar el excitador de servos al servo de Tren Auxiliar.

5.3 Con el excitador de servos situar el servo a 0°.

5.4 Montar, con llave Allen, la cogida de la varilla de transmisión con la pieza específica del tren (ligeramente aflojada) (ver imagen 9.6 del Anexo).

5.5 Con el excitador de servos regular el recorrido del Tren Auxiliar en sus posiciones extremas ($\pm 25^\circ$).

5.6 Apretar, con llave Allen, el tornillo de sujeción de la varilla de transmisión en el punto adecuado para alcanzar el recorrido anteriormente establecido (siempre tratando de evitar tensiones mecánicas en la cadena cinemática).

5.7 Comprobar que el Tren Auxiliar se puede mover correctamente, sin enganches, ni durezas.

5.8 Cortar el sobrante de varilla de mando con los alicates.

6. Resumen de resultados

No aplicable.

7. Anexo

Este punto recoge las imágenes siguientes asociadas a la prueba:

La imagen 9.6 muestra el Céfire 01 instantes previos al primer vuelo realizado en Utrera (Sevilla).

La imagen 9.7 muestra un detalle del sistema que dota de direccionalidad al Tren Auxiliar.



Imagen 9.6 (izquierda): Soportes para elevar el avión / Imagen 9.7 (derecha): Cogida varilla de mando - Tren Auxiliar
Fuente: Elaboración propia

Prueba Funcional. Barrido de ángulos de deflexión de Alerones

1. Objetivo

Comprobar las deflexiones extremas de los Alerones y la correcta relación de movimientos entre la palanca de la emisora y la superficie de control.

2. Documentación de referencia

Manual de la emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([consultar la web <http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>](http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html)).

3. Equipos empleados

Emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([imagen 7.59](#)).

Medidor de ángulos de deflexión ([imagen 7.67](#)).

Polímetro.

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Comprobar que el movimiento de los Alerones no es dificultado por ningún obstáculo.

4.1.2 Verificar que todos los elementos de la cadena cinemática de transmisión están correctamente instalados.

4.1.3 Asegurarse de que las conexiones de batería, regulador de tensión, servos de Alerón e interruptor de encendido están bien realizadas (conforme a lo estipulado en el epígrafe 8.3.2 *Conexión del sistema eléctrico*) y en buen estado.

4.1.4 Comprobar con el polímetro que las baterías han sido previamente cargadas ([el valor medido debe ser 7 v aproximadamente](#)), y que no se aprecian síntomas de hinchazón en las mismas.

5. Descripción de la prueba

5.1 Encender la emisora.

5.2 Conectar el interruptor de encendido del avión.

5.3 Mover la palanca de control de Alerones de la emisora (ver Anexo de la prueba).

5.4 Comprobar la correcta ejecución de las órdenes transmitidas desde la emisora.

5.5 Llevar los Alerones a sus posiciones extremas ($\pm 25^\circ$) y medir con medidor de deflexiones.

6. Resumen de resultados

Si las deflexiones no son las fijadas en la Prueba Funcional de **Reglaje de mandos de vuelo, Alerones**, ejecutar nuevamente la prueba. Si aún así los valores no coinciden, repetir la prueba de reglaje para los Alerones.

7. Anexo

Véase la [imagen 9.4](#) de los controles de la emisora en el anexo de la Prueba Funcional de **Continuidad de la instalación de cableado**.

Prueba Funcional. Barrido de ángulos de deflexión del Timón de Profundidad

1. Objetivo

Comprobar las deflexiones extremas del Timón de Profundidad y la correcta relación de movimientos entre la palanca de la emisora y la superficie de control.

2. Documentación de referencia

Manual de la emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([consultar la web <http://www.futabarc.com/faq/faq-9c.html>](http://www.futabarc.com/faq/faq-9c.html)).

3. Equipos empleados

Emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([imagen 7.59](#)).

Medidor de ángulos de deflexión ([imagen 7.67](#)).

Polímetro.

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Comprobar que el movimiento del Timón de Profundidad no es dificultado por ningún obstáculo.

4.1.2 Verificar que todos los elementos de la cadena cinemática de transmisión están correctamente instalados.

4.1.3 Asegurarse de que las conexiones de batería, regulador de tensión, filtro de picos de tensión, servos de Timón de Profundidad e interruptor de encendido están bien realizadas (conforme a lo estipulado en el epígrafe 8.3.2 *Conexión del sistema eléctrico*) y en buen estado.

4.1.4 Comprobar con el polímetro que las baterías han sido previamente cargadas ([el valor medido debe ser 7 v aproximadamente](#)), y que no se aprecian síntomas de hinchazón en las mismas.

5. Descripción de la prueba

5.1 Encender la emisora.

5.2 Conectar el interruptor de encendido del avión.

5.3 Mover la palanca de control de Timón de Profundidad de la emisora (ver Anexo de la prueba).

5.4 Comprobar la correcta ejecución de las órdenes transmitidas desde la emisora.

5.5 Llevar el Timón de Profundidad a sus posiciones extremas ($\pm 30^\circ$) y medir con medidor de deflexiones.

6. Resumen de resultados

Si las deflexiones no son las fijadas en la Prueba Funcional de **Reglaje de mandos de vuelo, Timón de Profundidad**, proceder nuevamente a la ejecución de esta prueba. Si aún así, los valores no coinciden, repetir la prueba de reglaje para el Timón de Profundidad.

7. Anexo

Véase la imagen 9.4 de los controles de la emisora en el anexo de la Prueba Funcional de **Continuidad de la instalación de cableado**.

Prueba Funcional. Barrido de ángulos de deflexión de Timones de los Dirección

1. Objetivo

Comprobar las deflexiones extremas de los Timones de Dirección y la correcta relación de movimientos entre la palanca de la emisora y las superficies de control.

2. Documentación de referencia

Manual de la emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([consultar la web <http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>](http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html)).

3. Equipos empleados

Emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([imagen 7.59](#)).

Medidor de ángulos de deflexión ([imagen 7.67](#)).

Polímetro.

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Comprobar que el movimiento de los timones no es dificultado por ningún obstáculo.

4.1.2 Verificar que todos los elementos de la cadena cinemática de transmisión están correctamente instalados.

4.1.3 Asegurarse de que las conexiones de batería, regulador de tensión, filtro de picos de tensión, servos de timón e interruptor de encendido están bien realizadas (conforme a lo estipulado en el epígrafe 8.3.2 *Conexión del sistema eléctrico*) y en buen estado.

4.1.4 Comprobar con el polímetro que las baterías han sido previamente cargadas ([el valor medido debe ser 7 v aproximadamente](#)), y que no se aprecian síntomas de hinchazón en las mismas.

5. Descripción de la prueba

5.1 Encender la emisora.

5.2 Conectar el interruptor de encendido del avión.

5.3 Mover la palanca de control de los Timones de Dirección de la emisora (ver Anexo de la prueba).

5.4 Comprobar la correcta ejecución de las órdenes transmitidas desde la emisora.

5.5 Llevar los Timones de Dirección a sus posiciones extremas ($\pm 30^\circ$) y medir con medidor de deflexiones.

6. Resumen de resultados

Si las deflexiones no son las fijadas en la Prueba Funcional de [Reglaje de mandos de vuelo, Timones de Dirección](#), ejecutar la prueba nuevamente. Si aún así, [los valores no coinciden, repetir la prueba de reglaje para los Timones de Dirección](#).

7. Anexo

Véase la imagen 9.4 de los controles de la emisora en el anexo de la Prueba Funcional de **Continuidad de la instalación de cableado**.

Prueba Funcional. Respuesta de la dirección del Tren Auxiliar

1. Objetivo

Comprobar que el reglaje del Tren Auxiliar es correcto.

2. Documentación de referencia

Manual de la emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([consultar la web <http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>](http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html)).

3. Equipos empleados

Emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([imagen 7.59](#)).

Medidor de ángulos de deflexión ([imagen 7.67](#)).

Polímetro.

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Comprobar que el movimiento de Tren Auxiliar no es dificultado por ningún obstáculo.

4.1.2 Verificar que todos los elementos de la cadena cinemática de transmisión están correctamente instalados.

4.1.3 Asegurarse de que las conexiones de batería, regulador de tensión, filtro de picos de tensión, servo de tren e interruptor de encendido están bien realizadas (conforme a lo estipulado en el epígrafe *8.3.2 Conexión del sistema eléctrico*) y en buen estado.

4.1.4 Comprobar con el polímetro que las baterías han sido previamente cargadas ([el valor medido debe ser 7 v aproximadamente](#)), y que no se aprecian síntomas de hinchazón en las mismas.

4.1.5 Colocar el avión sobre soportes de elevación ([imagen 9.6](#)).

5. Descripción de la prueba

5.1 Encender la emisora.

5.2 Conectar el interruptor de encendido del avión.

5.3 Mover la palanca de control asociada a la dirección de Tren Auxiliar de la emisora (ver Anexo de la prueba).

5.4 Comprobar la correcta ejecución de las órdenes transmitidas desde la emisora.

5.5 Llevar el Tren Auxiliar a sus posiciones extremas ($\pm 25^\circ$).

6. Resumen de resultados

Si el recorrido no es el correspondiente a la Prueba Funcional de **Reglaje del mando de dirección de Tren Auxiliar**, ejecutar la prueba nuevamente. Si aún así, [los valores no coinciden, repetir la prueba de reglaje para el Tren Auxiliar](#).

7. Anexo

Véase la imagen 9.4 de los controles de la emisora en el anexo de la Prueba Funcional de **Continuidad de la instalación de cableado**.

Prueba Funcional. Actuación de Flaps

1. Objetivo

Comprobar la deflexión extrema de Flaps y la correcta relación de movimientos entre la palanca de la emisora y la superficie de control.

2. Documentación de referencia

Manual de la emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([consultar la web <http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>](http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html)).

3. Equipos empleados

Emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([imagen 7.59](#)).

Medidor de ángulos de deflexión ([imagen 7.67](#)).

Polímetro.

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Comprobar que el movimiento de Flap no es dificultado por ningún obstáculo.

4.1.2 Verificar que todos los elementos de la cadena cinemática de transmisión están correctamente instalados.

4.1.3 Asegurarse de que las conexiones de batería, regulador de tensión, filtro de picos de tensión, servo de Flap e interruptor de encendido están bien realizadas (conforme a lo estipulado en el epígrafe 8.3.2 *Conexión del sistema eléctrico*) y en buen estado.

4.1.4 Comprobar con el polímetro que las baterías han sido previamente cargadas ([el valor medido debe ser 7 v aproximadamente](#)), y que no se aprecian síntomas de hinchazón en las mismas.

5. Descripción de la prueba

5.1 Encender la emisora.

5.2 Conectar el interruptor de encendido del avión.

5.3 Mover la palanca de control de flap de la emisora (ver Anexo de la prueba).

5.4 Comprobar la correcta ejecución de las órdenes transmitidas desde la emisora.

5.5 Llevar el Flap [a sus posiciones extremas \(\$\pm 30^\circ\$ \)](#) y medir con medidor de deflexiones.

6. Resumen de resultados

Si las deflexiones no son las fijadas en la Prueba Funcional de [Reglaje de Flaps](#), ejecutar la prueba nuevamente. Si aún así, [los valores no coinciden, repetir la prueba de reglaje para los Flaps](#).

7. Anexo

[Véase la imagen 9.4](#) de los controles de la emisora en el anexo de la Prueba Funcional de [Continuidad de la instalación de cableado](#).

Prueba Funcional. Pesaje del UAV

1. Objetivo

Pesaje y centrado del avión.

2. Documentación de referencia

No aplicable.

3. Equipos empleados

Báscula electrónica (imágenes 9.9 y 9.10).

Elementos para nivelar los puntos de apoyo del avión a la altura del de la báscula (ladrillos) (imágenes 9.9 y 9.10).

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Antes de colocar el avión sobre la báscula, encender la misma y comprobar que se **tara** a cero.

4.1.2 compruébese que el UAV tiene todos los sistemas montados para realizar esta prueba (sin carga de combustible).

5. Descripción de la prueba

5.1 Colocar las ruedas del Tren Principal sobre ladrillos (ver **las imágenes 9.8 y 9.9** del Anexo de la prueba)

5.2 Colocar la báscula bajo el Tren Auxiliar, encenderla, y entonces apoyar la rueda de tren.

5.3 Esperar unos segundos hasta que se establezca la medida que indica la pantalla de la báscula. Apuntar la medida y apagar la báscula.

5.4 Levantar el avión, colocar ladrillos para una de las ruedas de Tren Principal y para la rueda de Morro. Colocar la báscula bajo la rueda de Tren Principal que queda libre, encenderla, y entonces apoyar la rueda.

5.5 Esperar unos segundos hasta que se establezca la medida que indica la pantalla de la báscula. Apuntar la medida y apagar la báscula.

5.6 Levantar el avión, colocar ladrillos para rueda de Tren Principal opuesta a la anterior y para la rueda de Morro. Colocar la báscula bajo la rueda de Tren Principal que queda libre, encenderla, y entonces apoyar la rueda.

5.7 Esperar unos segundos hasta que se establezca la medida que indica la pantalla de la báscula. Apuntar la medida y apagar la báscula.

5.8 **Medir las distancias desde:**

- Eje de la rueda del Tren Auxiliar a la punta del cono de Morro.
- Eje de las ruedas del Tren Principal a la punta del cono de Morro.

6. Resultados obtenidos

Obtener la posición real Centro de Gravedad mediante el método de las tres normales: La suma de las tres normales que se tienen como reacción del tren triciclo en el suelo, es equivalente al peso total del avión. Si se multiplica el valor de cada una de las tres normales

por el brazo que ejercen (distancias medidas en el punto 5.8 de la descripción de la prueba) y se dividen por la suma del peso total, se obtiene el valor del centro de gravedad del avión. Los resultados obtenidos son los que se exponen en la tabla 9.1, extraída de [39].

	Posición de la fuerza (X_i)	Valor de la fuerza (N_i)
Normal delantera	0,535 m	3,046 kg
Normal tren derecho	1,32 m	9,818 kg
Normal tren izquierdo	1,32 m	9,622 kg
Peso del avión	1,22 m	23,186 kg

Tabla 9.1: Datos para aplicar el método de las Tres Normales. Fuente: Prueba Funcional de Pesaje del UAV

Con estos datos se tiene la posición real del centro de gravedad (respecto de la proa de Fuselaje) haciendo:

$$\text{-----} = 1,2136 \text{ m}$$

7. Anexo

Este punto se recoge las siguientes imágenes relacionadas con la prueba:

- Imagen 9.8: Esquema de la posición de las Normales en cada rueda.
- Imagen 9.9: Medida de la Normal asociada al Tren Auxiliar.
- Imagen 9.10: Mediad de la Normal asociada a una de las patas del Tren Principal.

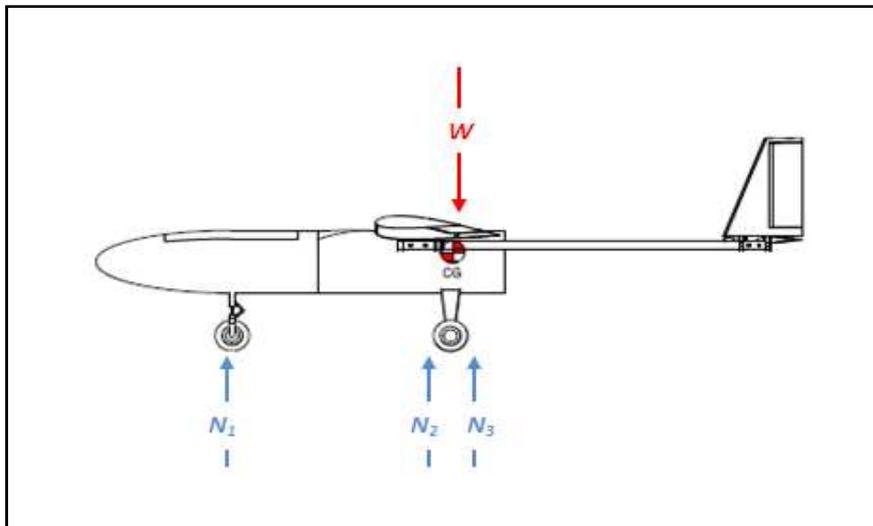


Imagen 9.8: Método de las 3 Normales, equilibrio de fuerzas en eje vertical.
Fuente: [39]



Imagen 9.9: Prueba Funcional de pesaje. Báscula bajo rueda de Tren Auxiliar. Fuente: Elaboración propia



Imagen 9.10: Prueba funcional de pesaje, Báscula bajo rueda izquierda de Tren Principal. Fuente: Elaboración propia

B. Pruebas *Outdoor*

Prueba Funcional. Rodaje de motor **en banco**

1. Objetivo

Garantizar el correcto funcionamiento del motor antes de ser integrado en la aeronave (esta prueba ha sido ejecutada en exterior y en interior).

2. Documentación de referencia

Thor 45 CDI Petrol Engine Operating Instructions (véase epígrafe [13.5 ANEXO 5: Instrucciones de operación del motor THOR 45](#)).

Las instrucciones de operación del motor Graupner G58 empleado en el segundo vuelo del Céfiro se encuentran en el laboratorio de Ingeniería Aeroespacial.

3. Equipos empleados

Bancada para pruebas de motor ([imágenes 9.11-9.14](#) del Anexo la prueba).

Pesos para sujeción de bancada ([imágenes 9.13 y 9.14](#)).

Servo digital S9650 y tornillos propios ([imagen 7.17](#)).

Tacómetro digital ([imagen 7.61](#)).

Cronómetro.

Varilla de mando roscada en ambos extremos ([imagen 7.40](#)).

Terminal de conexión tipo rótula ([imágenes 7.37-7.39](#)).

Terminal de conexión con cierre de seguridad + retenedor ([imagen 7.33](#)).

Tornillos de métrica 5 para sujeción de motor.

Arandelas (convencional y grower) y tuercas de métrica igual o superior a 5 ([consultar epígrafe 13.7 ANEXO: Uniones](#)).

Juegos de llaves y destornilladores.

Cinta adhesiva.

Tres auriculares.

Tres walkie-talkies.

Polímetro.

Cámara web (sólo aplicable a la ejecución de esta prueba en interior, para el motor Graupner G58 empleado para el segundo vuelo del Céfiro).

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Dada la configuración de la bancada de fijación para motor, éste debe ser colocado al revés en la misma. Montar el motor de acuerdo a lo establecido en el epígrafe [8.2 Procesos de Integración estructural](#).

4.1.2 Asegurar todas las uniones antes de ejecutar la prueba (poner especial atención en las uniones de tubo de escape y hélice, [añadiendo en esos puntos un líquido de fijación](#)).

4.1.3 Comprobar que las baterías han sido previamente cargadas ([usar para ello el polímetro y verificar que la medida indicada es próxima a 7 v](#)) y no se aprecian síntomas de hinchazón (esto indicaría que hay que desecharlas) en las mismas (no golpear las baterías ya que se puede provocar este efecto).

4.1.4 Comprobar que las conexiones del módulo de [ignición electrónica](#) y batería son correctas (conforme a lo estipulado en el epígrafe 8.3.2 *Conexión del sistema eléctrico*) y están en buen estado.

4.1.5 Instalar el servo en la posición específica de la bancada (ver [imagen 9.11](#) del Anexo de la prueba)

4.1.6 Comprobar que el servo y su varilla de mando están correctamente conectados y no existe tensión mecánica en la línea de transmisión.

4.1.7 Verificar que el tanque de combustible dispone de suficiente cantidad de gasolina para efectuar la prueba.

4.1.8 **Comprobar** todas las conexiones del sistema de combustible y verificar que están correctamente fijadas a la bancada (emplear para ello cinta adhesiva).

4.1.9 Colocar los pesos en los laterales de la bancada tal como ilustra la [imagen 9.13](#) del Anexo de la prueba.

4.2 Instrucciones de seguridad

4.2.1 Retirar toda clase de objetos que se encuentren a menos de 5 metros de la bancada (suelo libre y limpio de objetos extraños).

4.2.2 No golpear las baterías ya que pueden inutilizarse o explotar si están en mal estado.

4.2.3 Toda persona, excepto aquella que ejecuta la prueba (arranca motor y controla el servo de palanca de gases), debe situarse detrás de la bancada, nunca frente a la hélice ni tampoco en su línea de acción.

4.2.4 Emplear vestimenta de trabajo, guantes y gafas de protección para arrancar el motor.

4.2.5 La persona encargada de arrancar el motor deberá retirar la mano rápidamente de la zona de hélice tras [tirar de](#) la misma durante los intentos de arranque.

4.2.6 La persona encargada de medir las rpm de hélice con el tacómetro, debe realizar la operación con sumo cuidado, ya que debe acercarse al dispositivo de medida muy próximo al plano de rotación de la hélice.

4.2.7 Tras la ejecución de la prueba no tocar el motor, dejar enfriar de 20 a 30 min.

5. Descripción de la prueba

5.1 Abrir la palometa de entrada de combustible al máximo.

5.2 Cerrar la entrada de aire.

5.3 Dar dos o más vueltas a hélice para cebar el motor.

5.4 Bajar la palometa de entrada de combustible sin llegarla a cerrar totalmente.

5.5 Abrir la entrada de aire.

5.6 Conectar el interruptor que une la batería de motor con el [módulo de ignición electrónica](#).

5.6' (sólo para motor Graupner G58) Conectar la cámara web para visualizar y grabar las medidas de empuje dadas por dinamómetro (consultar epígrafe 12 *Conclusiones*). Anotar las medidas para un intervalo de tiempo deseado (imágenes 9.15 y 9.16)

5.7 Empujar la hélice según la dirección de giro (a favor de las agujas del reloj mirando en la dirección de vuelo) hasta arranque del motor.

5.8 Regular la potencia de [motor con el mando asociado al servo digital S9650](#).

5.9 Efectuar los siguientes ciclos (esta parte de la prueba debe efectuarse de forma coordinada, entre la persona que mide las rpm y la que controla la potencia de motor, por ello deben emplear auriculares y walkie-talkies:

- Ralentí 5 min. Tomar medidas con el tacómetro
- Subida y mantener 5 min. Tomar medida con tacómetro (medida próxima a 3000rpm)
- Subida y mantener 5 min. Tomar medida con tacómetro (medida próxima a 6000rpm)

- Bajar a ralentí, mantener 5 min.

5.10 Cortar motor (cerrar palometa de combustible).

5.11 Desconectar interruptor de alimentación.

6. Resumen de resultados

Recoger datos de Empuje vs RPM / Consumo vs RPM. Graficar los resultados obteniendo resultados como los mostradas en el Anexo de la prueba (esta gráfica corresponde al motor Graupner G58 empleado en el segundo vuelo de Céfire, por tanto no tiene validez para el motor Thor 45 que se trata en este proyecto, es sólo ilustrativa).

7. Anexo

Las imágenes que recoge esta sección son:

- Imagen 9.11: Ubicación de los elementos empleados en el rodaje de motor en banco.
- Imagen 9.12: Vista frontal de la bancada con la forma de posicionar el motor (invertida).
- Imagen 9.13: Motor THOR 45 montado en la bancada de pruebas.
- Imagen 9.14: Realización de la prueba de rodaje en banco del motor THOR 45.
- Imagen 9.15: Realización de la prueba de rodaje en banco del motor Graupner G58.
- Imagen 9.16: Medición de los valores de empuje proporcionados por el motor Graupner G58 durante la prueba de rodaje en bancada.
- Imagen 9.17: Gráfica de Empuje frente a revoluciones de hélice para el motor Graupner G58. Medidas tomadas durante un rodaje de motor en el interior del Laboratorio de Ingeniería Aeroespacial.

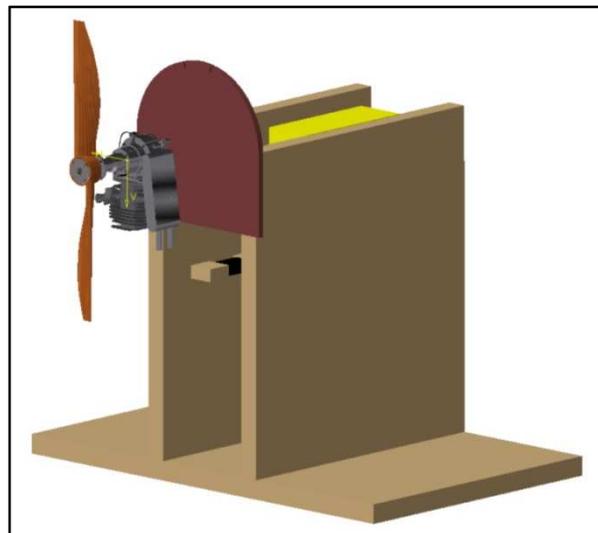
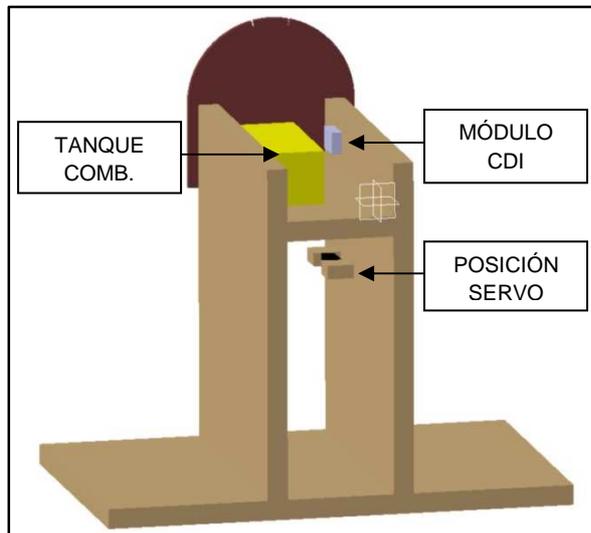


Imagen 9.11 (izquierda): Vista trasera de la bancada para rodaje de motor / Imagen 9.12 (derecha): Vista frontal de la bancada y posicionamiento de motor en ella. Fuente: CATIA V5

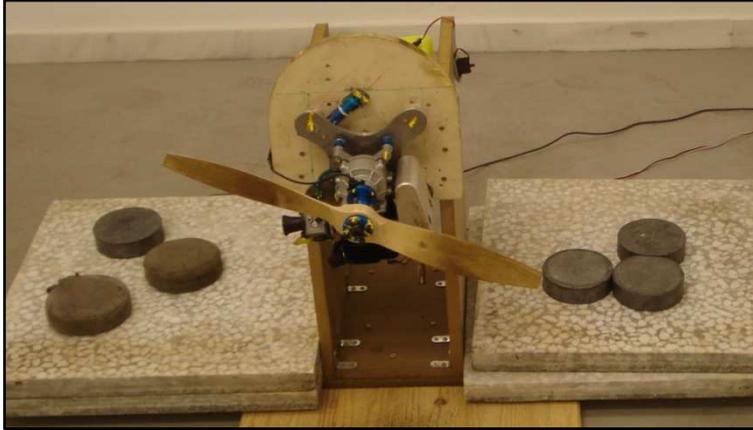


Imagen 9.13 (izquierda): Bancada con motor instalado y pesos colocados / Imagen 9.14 (derecha): Ejecución de la prueba, medición de las RPM de hélice. Fuente: Elaboración propia

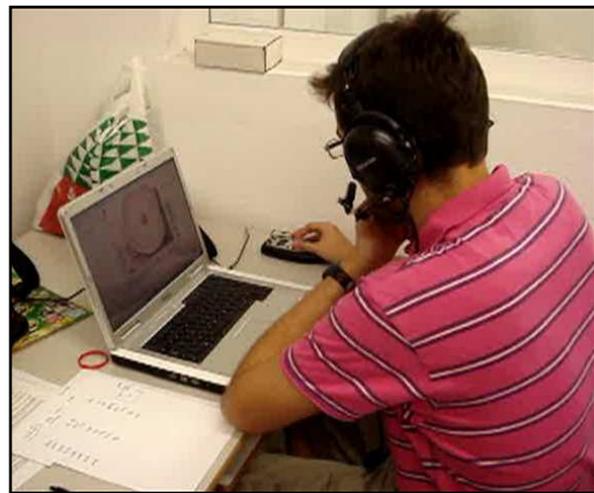
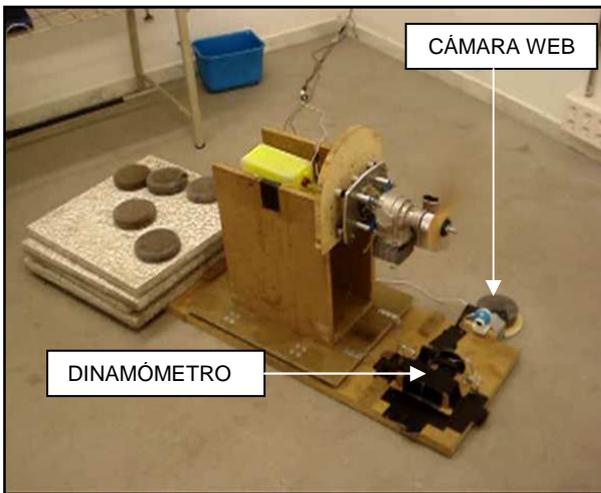


Imagen 9.15 (izquierda): Ejecución de la prueba con motor Graupner G58, dinamómetro y cámara web / Imagen 9.16 (derecha): Medición de los valores de empuje. Fuente: Elaboración propia

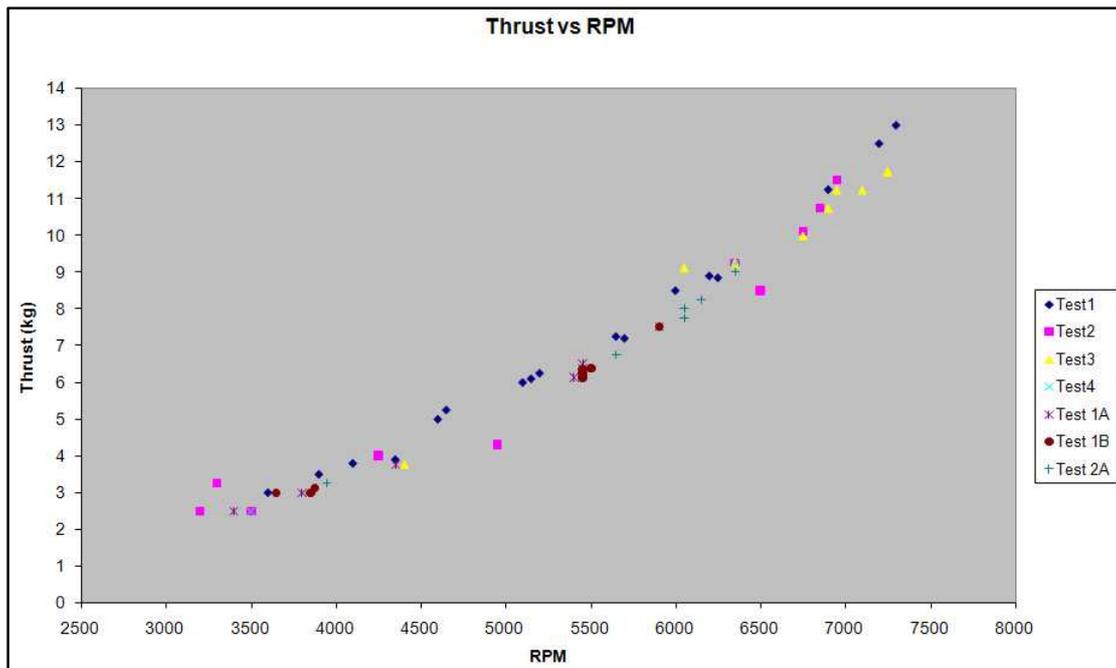


Imagen 9.17: Empuje vs RPM para motor Graupner G58. Fuente: Elaboración propia

Prueba Funcional. Funcionamiento de los sistemas con el motor en marcha

1. Objetivo

Verificar el correcto funcionamiento de todos los sistemas montados en el UAV con el motor en marcha. Para ello, esta prueba debe efectuarse en dos situaciones:

- Con la persona que maneja la emisora a corta distancia (de 5 a 10 m) de la aeronave.
- Con la persona que maneja la emisora situada a gran distancia (de 50 a 100m) de la aeronave.

2. Documentación de referencia

Thor 45 CDI Petrol Engine Operating Instructions (véase epígrafe [13.5 ANEXO 5: Instrucciones de operación del motor THOR 45](#)).

Manual de la emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([consultar la web <http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>](http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html)).

3. Equipos empleados

Cinta aislante.

Juegos de llaves y destornilladores.

Emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([imagen 7.59](#)).

Polímetro.

[Dos auriculares.](#)

[Dos walkie-talkies.](#)

[Equipo para localizar las frecuencias de emisión próximas \(sólo para futuras versiones del Céfire 01\).](#)

[Calzos.](#)

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Asegurar todas las uniones antes de ejecutar la prueba (poner especial atención en la sujeción de tubo de escape y hélice, [añadiendo en esos puntos un líquido de fijación](#)).

4.1.2 Comprobar que las baterías han sido previamente cargadas ([usar para ello el polímetro y verificar que la medida indicada es próxima a 7 v](#)) y no se aprecian síntomas de hinchazón (esto indicaría que hay que desecharlas) en las mismas (no golpear las baterías ya que se puede provocar este efecto).

4.1.3 Comprobar que las conexiones del sistema eléctrico están correctamente realizadas (conforme a lo estipulado en el epígrafe [8.3.2 Conexión del sistema eléctrico](#)), en buen estado, [y bien fijadas en el interior de la aeronave](#). Asegurar las uniones entre conectores de cables por medio de cinta aislante.

4.1.4 Antes de cerrar las compuertas verificar que las uniones de servo y varillas de mando están bien ejecutadas y no existe tensión mecánica en la línea de transmisión.

4.1.5 Verificar que el tanque de combustible dispone de suficiente cantidad de gasolina para efectuar la prueba.

4.1.6 [Comprobar](#) todas las conexiones del sistema de combustible y verificar que están correctamente aseguradas.

4.2 Instrucciones de seguridad

- 4.2.1 Retirar toda clase de objetos extraños que se encuentren en las proximidades del motor.
- 4.2.2 No golpear las baterías ya que pueden inutilizarse o explotar si están en mal estado.
- 4.2.3 Emplear vestimenta de trabajo, guantes y gafas de protección para arrancar el motor.
- 4.2.4 Proceder al arranque de motor; la persona encargada de arrancar el motor deberá retirar la mano rápidamente de la zona de hélice tras empujar la misma durante los intentos de arranque.
- 4.2.5 Tras la ejecución de la prueba no tocar el motor **ni tubo de escape**, dejar enfriar de 20 a 30 min.

5. Descripción de la prueba

- 5.1 Conectar el interruptor asociado a la batería de motor y el propio del sistema de comunicaciones, de mandos de vuelo y de dirección del Tren Auxiliar.
- 5.2 Conectar la emisora habiendo extendido previamente su antena.
- 5.3 Asegurarse de que tanto receptor como emisora están en la misma frecuencia. Para ello, al encender la emisora obsérvese cómo las superficies de control se ponen al valor cero, dado en las pruebas funcionales de reglaje de mandos de vuelo.
- 5.3' (sólo para ser implementado en futuras versiones del Céfiro 01) Comprobar que no hay interferencias conocidas (otras emisoras próximas). Para ello sería recomendable adquirir un que detecte las frecuencias de emisión cercanas.
- 5.4 Cerrar (atornillar) todas las compuertas.
- 5.5 Colocar calzos en las ruedas para evitar que la aeronave se desplace.
- 5.6 Proceder al procedimiento normal de arranque de motor indicado en los puntos 5.1-5.7 de la Prueba Funcional de **Rodaje de motor en banco**. Una vez arrancado el motor, mantener uno o dos minutos a ralentí y luego acelerar de forma paulatina.
- 5.7 Probar los sistemas de control de motor, dirección del Tren Auxiliar y de mandos de vuelo, con los sticks de la emisora (véase la imagen 9.4). En este punto, la persona que maneja la emisora y la que se encuentra junto a la aeronave estarán en contacto vía walkie –talkies y auriculares.

6. Resumen de resultados

Comprobar que las órdenes transmitidas desde emisora se reciben y ejecutan correctamente (mover superficies de control, dirección de Tren Auxiliar y palanca de gases, para **corroborar** que no haya comportamientos anómalos). **Para ello será necesario que exista en todo momento contacto vía walkie-talkies y auriculares, especialmente, cuando la prueba sea ejecutada a larga distancia.**

7. Anexo

Véase la **imagen 9.4** de los controles de la emisora en el anexo de la Prueba Funcional de **Continuidad de la instalación de cableado**.

Prueba Funcional. Rango de captación de la señal radiada por la emisora

1. Objetivo

Tratar de ver el rango de alcance de la señal radiada por la emisora (sin motor, sólo movimiento de superficies de control y tren de morro).

2. Documentación de referencia

Manual de la emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([consultar la web <http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>](http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html)).

3. Equipos empleados

Emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ([imagen 7.59](#)).

Dos Walkie-talkies.

Polímetro.

- Herramientas informáticas empleadas: Google Maps (mapa de la Cartuja) ([consultar la web <http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>](http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html))

4. Preparación preliminar

4.1 Instrucciones preliminares

4.1.1 Comprobar con el polímetro que las baterías han sido previamente cargadas ([el valor medido con el polímetro debe ser próximo a 7 v](#)) y no se aprecian síntomas de hinchazón en las mismas.

4.1.2 [Corroborar](#) que las conexiones del sistema eléctrico están correctamente realizadas (conforme a lo estipulado en el epígrafe 8.3.2 *Conexión del sistema eléctrico*), en buen estado, bien fijadas en el interior de la aeronave. Asegurar las uniones entre conectores de cables por medio de cinta aislante.

4.1.3 Antes de cerrar las compuertas de alas y cola, verificar que las uniones de servo y varillas de mando están bien realizadas y no existen tensiones mecánicas en las líneas de transmisión.

4.2 Instrucciones de seguridad

No golpear las baterías ya que pueden dañarse o explotar si están en mal estado.

5. Descripción de la prueba

5.1 Entrar a la aplicación [Google Maps](#) y definir las distancias que se crean necesarias para establecer puntos de operación (puntos desde los que se desarrollarán las actividades transmisión-recepción de control de los sistemas de la aeronave). Imprimir los datos representados.

5.2 Sacar la aeronave fuera del laboratorio de Ingeniería Aeroespacial.

5.3 La persona encargada de la emisora ([detalle superior derecho de la imagen 9.18](#)), llevará consigo un walkie-talkie y se irá alejando, mientras comunica su posición para ser localizado en Google Maps y así conocer la distancia a la que se encuentra.

5.4 Conectar emisora.

5.5 Conectar los interruptores del UAV.

5.6 Conforme vaya alejándose se irán efectuando pruebas de control de los distintos sistemas. Las personas situadas junto a la aeronave (detalle inferior izquierdo de la imagen 9.18) deben verificar que las órdenes se reciben de acuerdo a la manipulación de los controles de emisora. Para ello debe existir contacto en todo momento vía walkie-talkies y auriculares.

6. Resumen de resultados

La prueba muestra un rango de distancia de 800 m aprox. de alcance efectivo de la señal, a partir de esa distancia (imagen central 9.18, punto D) ya no existe una recepción correcta. Se recomienda ir haciendo paradas en diversos puntos, tal como puede apreciarse en la imagen central 9.18 del Anexo de esta prueba. Obsérvese cómo en dicha instantánea se han marcado una serie de puntos, en los que se produjeron las siguientes situaciones:

- Punto 0: Situación de la aeronave (Laboratorios de Ingeniería Aeroespacial).
- Punto A: 180 m en línea recta hasta el punto 0 (recepción correcta).
- Punto B: 250 m en línea recta hasta el punto 0 (la proximidad a un puente genera un ruido en la recepción introduce vibración en el control de las superficies de mando).
- Punto C: 480 m en línea recta hasta el punto 0 (algunas interferencias en la recepción).
- Punto D: 800 m en línea recta hasta el punto 0 (pérdidas constantes en el control de los sistemas del avión).

7. Anexo

Las imágenes asociadas a la ejecución de esta prueba son:

- Ruta seguida durante la ejecución de la prueba (puntos A-D de la imagen central 9.18).
- Véase la imagen 9.4 de los controles de la emisora en el anexo de la Prueba Funcional de Continuidad de la instalación de cableado.

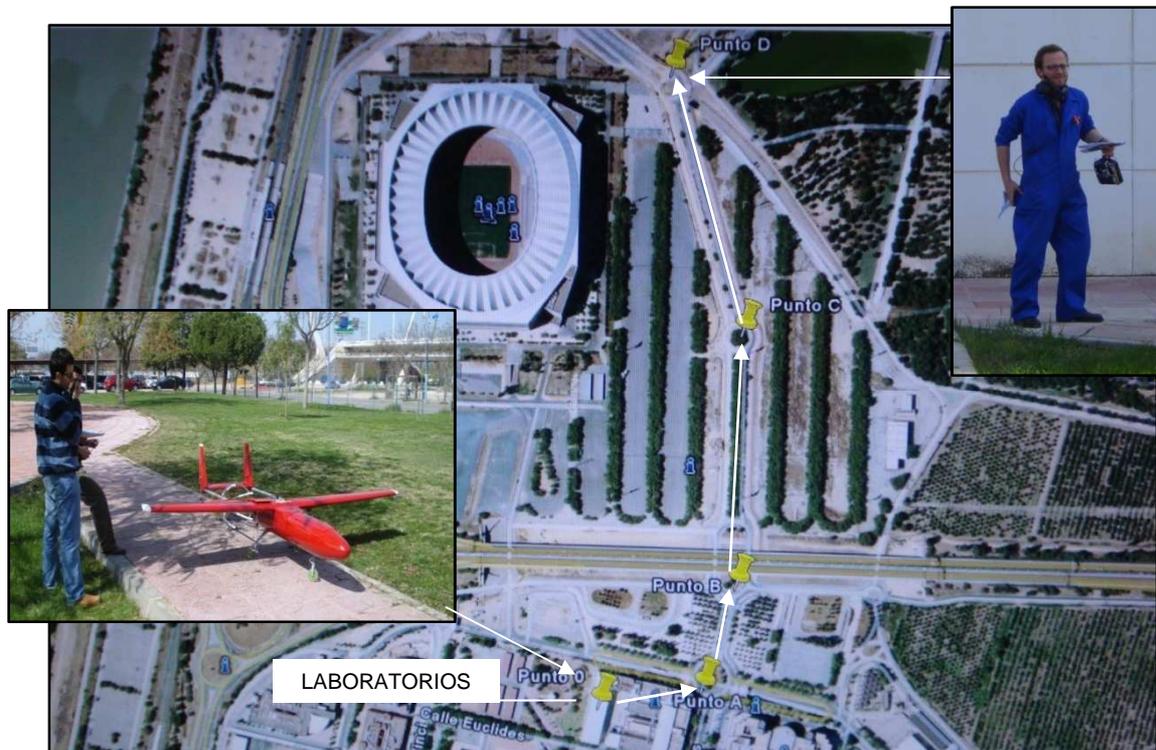


Imagen 9.18: Mapa seguido para prueba funcional de rango de la señal radiada. Fuente: <www.maps.google.es>

9.2 Resultados negativos de algunas pruebas funcionales

Algunas pruebas muestran resultados no satisfactorios, que en muchos casos conllevan daños irreparables para ciertos elementos que intervienen en ellas, o simplemente sustituciones por otros equipos que suplen el defecto de funcionalidad de los previamente probados. En estos casos es necesario localizar el fallo, investigarlo, proponer una solución y volver a ejecutar la prueba. [A continuación se muestran algunas consecuencias padecidas, asociadas a las siguientes pruebas uncionales:](#)

Prueba Funcional. Rodaje de motor **en banco**

De la ejecución de esta prueba se derivaron dos problemas o defectos:

- La excesiva vibración introducida en la estructura a bajos regímenes de funcionamiento de motor → Resultados del proceso de investigación: Emplear una placa de Aluminio para la cogida de motor, y colocar dos amortiguadores fijados a la misma (más información sobre este montaje en epígrafe *8.2 Procesos de integración estructural*).
*Nota: En la configuración final (empleada en el segundo vuelo del Céfiro 01) se redujeron al mínimo las vibraciones, introduciendo 6 *silent block* y eliminando los amortiguadores.*
- [Se produjeron daños estructurales importantes al aflojarse los tornillos de fijación de la hélice \(imagen 9.19\)](#) → Resultados del proceso de investigación: Emplear arandelas Grower y líquido para fijación de tornillos.

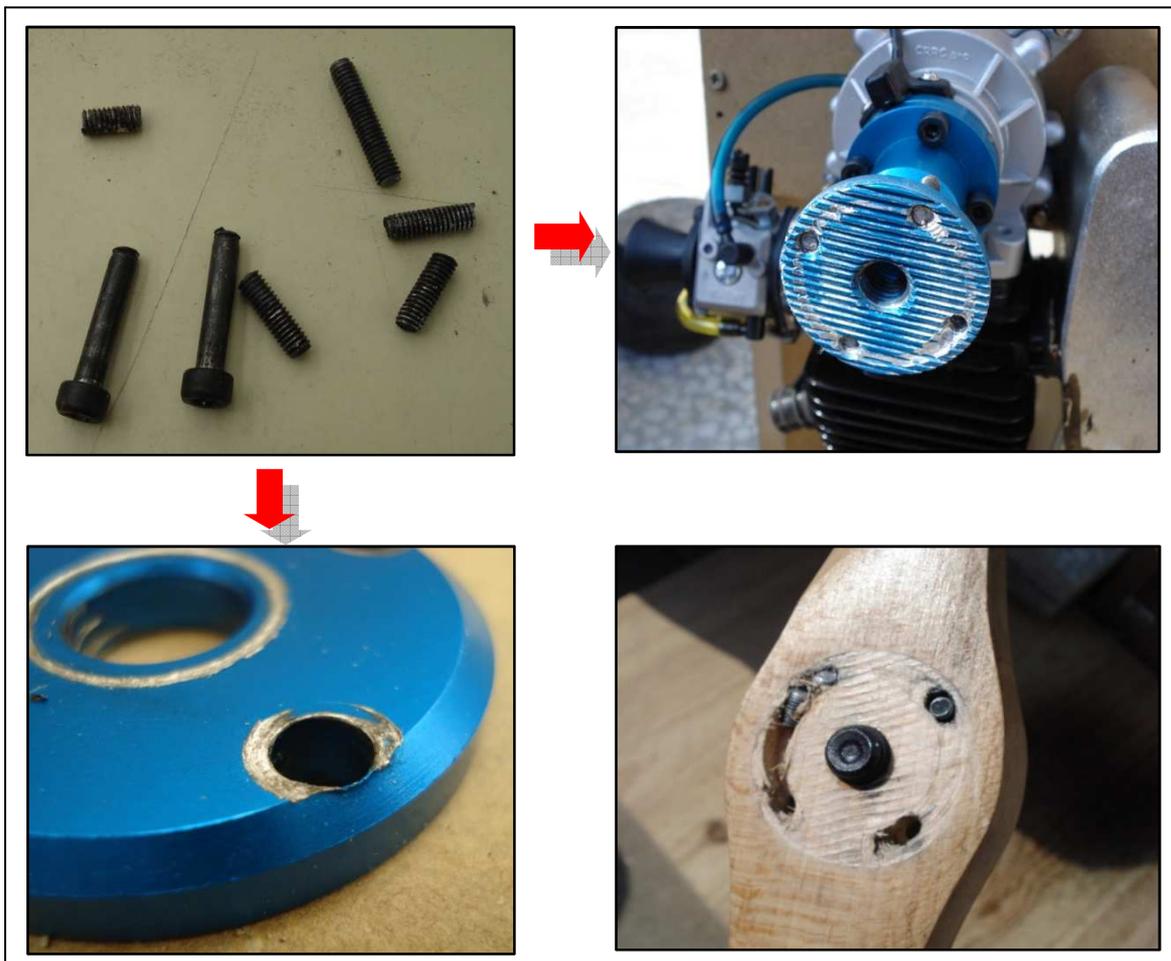


Imagen 9.19: Defecto revelado durante una prueba de rodaje de motor. Fuente: Elaboración propia

Prueba Funcional. Continuidad de la instalación de cableado

Previa ejecución de esta prueba se reveló el siguiente defecto:

- Cortocircuito que quema la batería y los cables de conexión (en esta ocasión la batería no llegó a explotar, pero las consecuencias pudieron haber sido catastróficas) (imagen 9.20) → Resultados del proceso de investigación: Interruptor mal montado (invertido) de fábrica.

Nota: Comprobar mediante análisis con las herramientas necesarias la correcta conectividad de los componentes asociados a los distintos sistemas.

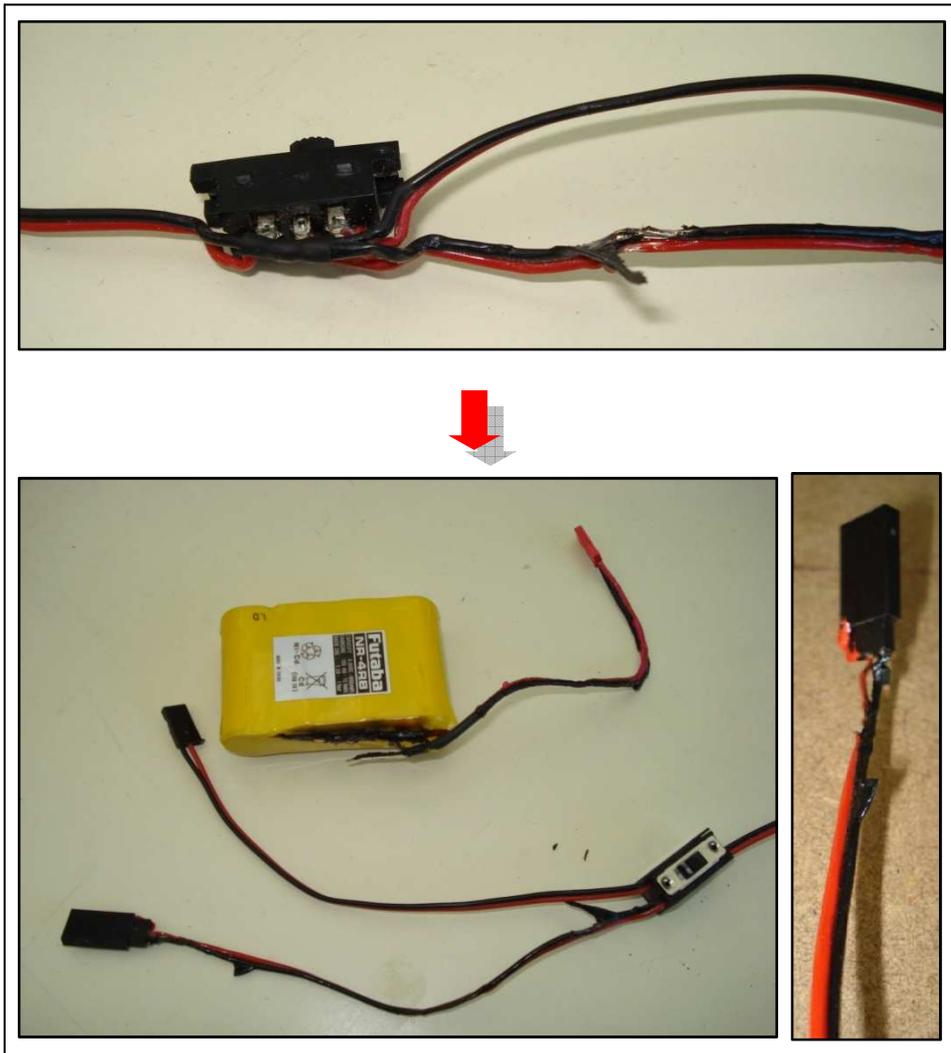


Imagen 9.20: Defectos previa prueba de continuidad de conexiones eléctricas.
Fuente: Elaboración propia

10. Análisis de coste del UAV Céfiro¹⁰

En este apartado se presenta de forma desglosada el coste de todos y cada uno de los elementos empleados en la construcción del UAV, **que previamente han sido** descritos en epígrafes anteriores. Por comodidad a la hora de realizar la compra, las secciones en las que se ha dividido el presupuesto son las siguientes:

COSTES DIRECTOS UAV CÉFIRO	
Planta de potencia	303,26 €
Sistema de combustible	149,39 €
Hélices	84,54 €
Herramientas de alineamiento y medida	140,90 €
Herramientas de recubrimiento	92,78 €
Sistema de comunicaciones	665,72 €
Servos y Conectores	973,20 €
Baterías	270,14 €
Adhesivos	239,64 €
Tornillería	234,87 €
Herramientas para construcción	109,2 €
Elementos de transmisión	113,05 €
Maderas (pedido 1)	217,63 €
Maderas (pedido 2)	275,95 €
Recubrimientos y pintura	147,8 €
Tren de aterrizaje	212,82 €
Tubos de cola	25€
Total	4255,9 €

Tabla 10.1: Coste directos del UAV Céfiro. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Observaciones:

1) El Coste Directo Total obtenido, **4255,9 €**, es una buena aproximación de la cifra invertida para la construcción del prototipo Céfiro. En efecto, sólo se trata de una aproximación, no es un resultado exacto ya que hay que considerar algunos factores asociados al proceso productivo que introducen error. En concreto:

- No todos los componentes comprados se han empleado en su totalidad, es decir, en ocasiones se ha hecho uso parcial de los mismos (p.e. Piénsese en un paquete de 10 conectores para cables, del que sólo son necesarias 5 unidades, no obstante, este paquete es el más reducido en el mercado. En un caso como este se está generando una pérdida).
- Se han comprado componentes, a veces en exceso (habitualmente tornillería o maderas), para poder afrontar imprevistos, y evitar mayores retrasos en el plazo de entrega del producto.
- Existen materias primas involucradas en la construcción del UAV que no se han comprado, sino que han sido cedidas por otros laboratorios de trabajo de la Escuela de Ingenieros (planchas de Aluminio y Acero, tacos de Nylon y otros).

¹⁰ Este epígrafe está basado en

[4] <www.ripmax.com>

[5] <www.towerhobbies.com>

[9] <www.robart.com>

[11] <www.hobbystores.co.uk>

Facturas de Model Expert

Facturas de Leroy Merlin

Igualmente hay equipos que han sido prestados, como el excitador de servos y herramientas empleadas en la construcción. Se recomienda el aprovisionamiento de dichos útiles.

2) En realidad las cifras invertidas por el Departamento de Ingeniería Aeroespacial son superiores respecto a la aquí presentada, en términos de coste directo, es decir, de componentes propios y asociados al UAV. Así, se han adquirido más elementos que los aquí presentados (p.e. un arrancador, un cono de hélice, un medidor de ángulos de incidencia, etc.), no obstante, son componentes que finalmente no se han utilizado, pero que se contemplaron en su día, no por una mala planificación, sino, por una falta de *know-how*, recuérdese que este UAV no deja de ser un primer prototipo.

3) No se ha computado el coste de mano de obra de los operarios (becas aportadas a los alumnos que han trabajado en el proyecto), que también sumarían para los costes directos.

4) Tampoco se han incluido las inversiones previas en material para el laboratorio de Ingeniería Aeroespacial ni los costes de maquinaria y herramientas asociadas al proceso de construcción, a saber: fresadora CNC, lijadora y máquina de cinta de sierra metálica.

Seguidamente se detallan cada una de las secciones anteriores. Para ello, se muestran las tablas 10.2-10.18) que constan de:

- Columna nº 1: en ella figura la descripción del componente, con un superíndice asociado al comercio donde ha sido adquirido (consultar fuentes al final de este epígrafe).
- Columna nº 2: contiene la referencia del artículo para su búsqueda en la página web o catálogo comercial correspondiente.
- Columna nº 3: indica el número de unidades adquiridas.
- Columna nº 4: refleja el coste unitario de venta (en euros).
- Columna nº 5: recoge el coste total de unidades adquiridas (en euros).

Planta de potencia	Referencia	Unidades	Precio	Total
Thor 45CDI ¹	THR001	1	211,98	211,98
Hi-Energy 4.8 2200mAh Ni-MH Rx PkSquare ¹	HE4N2200AAWF	1	10,69	10,69
Spark Plugs for Thor 45 ¹	X-THR45-0020	4	3,2	12,8
Thor 45 – Crankshaft Extension ¹	3L243	1	13,38	13,38
CDI Unit – Thor 45 ¹	X-THR45-0010	1	54,41	54,41
Total Sistema				303,26 €

Tabla 10.2: Coste de los elementos de planta de potencia. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Sistema de combustible	Referencia	Unidades	Precio	Total
Fuel tank 32oz/950cc ¹	L-RMX0950	2	6,05	12,1
Hand Crank Fuel Pump (Glow/Petrol) ¹	L-MG199-1	1	9,62	9,62
Sullivan Petrol Fuel Tube – 3/32 ¹	L-SLN208	2	3,74	7,48
Filling Station Can Fittings (Set) ¹	L-GPMP4155	1	4,27	4,27
Fuel Tubing Clips – 6mm Diameter (Pk4) ¹	L-IP166/10	2	1,06	2,12
Easy Fuel Valve for Petrol ¹	L-GPMQ4161	1	10,69	10,69
High Quality Fuel Filter ¹	L-FK277	2	4,27	8,54
Recoil Silicon Fuel Tube Fl.Orange ¹	L-IP002	1	4,27	4,27
Sullivan Aluminum Fuel Tank Stopper ¹	L-SLN478	2	4,27	8,54

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

VÁLVULA TOMA FUSELAJE GASOLINA ²	420335	1	18,97	18,97
TUBO TYGON INT 03MM ²	420800	2	5,43	10,86
SIM SILICONE OIL 5000 ²	SILD5000	1	3,36	3,36
SIM SILICONE OIL 10000 ²	SILD10000	1	3,36	3,36
SIM SILICONE OIL 30000 ²	SILD30000	1	3,36	3,36
678 FUEL LINE CLIPS LARGE (4) ³	LXD752	3	1,04	3,12
2310 FUEL LINE CLIPS MEDIUM (4) ³	LXFRM0	3	1,0067	3,02
Gasolina Sin Plomo de 95 octanos ¹⁰	No aplicable	27.35 litros	0,922	25,21
Aceite Castrol Power 1 TTS	No aplicable	1 litro	---	10,50
Total Sistema				149,39 €

Tabla 10.3: Coste del sistema de combustible. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Hélice	Referencia	Unidades	Precio	Total
P-1607 22X18 PUSHER WOOD PROP ⁴	LXJUY5	3	28,18	84,54
Total Sistema				84,54 €

Tabla 10.4: Coste de Hélices. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Herramientas de alineamiento y medida	Referencia	Unidades	Precio	Total
AccuThrow Surface Deflection Gauge ¹	T-GPMR2405	2	9,99	19,98
C.G Machine Aircraft Balancer ⁴	T-GPMR2400	1	21,99	21,99
Power Point Prop Balancer ³	E-TOPQ5700	1	19,99	19,99
499 TRU SPIN PROP BALANCER ³	LXD712	1	27,99	27,99
6-Way Wrench – 5.5/7/8/10/12/17mm ¹	L-IP100	1	2,99	2,99
Engine Mount Hole Locator ⁴	T-GPMR8130	1	6,99	6,99
Precision Hinge Marking Tool ⁴	T-GPMR4005	1	2,99	2,99
Z-Bend Pliers ¹	F-IP300	1	8,99	8,99
Digital Tachometer/Volt Meter/Batt. ¹	L-MG6021B	1	29,99	29,99
Total Sistema				140,90 €

Tabla 10.5: Coste de las herramientas de alineamiento y medida. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Herramientas de recubrimiento	Referencia	Unidades	Precio	Total
Custom Sealing Iron w/Alu Stand ¹	T-RMX001	2	23,5438972	47,08
Teamline Heat Gun ¹	T-RMX002	2	23,5438972	47,08
Irvine Pro Sealing Iron Sock ¹	T-CT01A	4	3,2012848	12,8
Coverite Heat Iron Thermometer ¹	T-COVR2410	2	4,27194861	8,54
Heat Gun Glove ¹	T-RMX002/01	2	5,34261242	10,68
Total Sistema				92,78 €

Tabla 10.6: Coste de las herramientas de recubrimiento. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Sistema de comunicaciones	Referencia	Unidades	Precio	Total
Futaba 9ch Rx Dual/Conv FM35 PCM Synth. ¹	R319DPS/35	2	125,25	250,5
Emisora Futaba T9CP Super PCM1024 ¹		1	350	350
Radio Case – Futaba Aero Single Tx ¹	P-D30753	1	37,46	37,46
Regulador batería LiPo 6V 8a ²	DSVR-8L	1	27,76	27,76
Total Sistema				665,72 €

Tabla 10.7: Coste de los elementos del sistema de comunicaciones. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Servos y conectores	Referencia	Unidades	Precio	Total
Servo DigtI-Hi Response 0.10s/8.7Kg ¹	P-S9451	4	72,26	289,04
Servo DigtI Hi Response 0.11s/4.5Kg ¹	P-S9650	1	64,23	64,23
Servo Coreless-Digital 0.13s/13.8Kg ¹	P-S9351	4	96,35	385,4
Servo Digital-Power 0.17s/24.5Kg ¹	P-S9156	1	86,71	86,71
Servo Output Template 12.5~15.0 ¹	P-SO-TEMP01	1	5,34	5,34
Servo Grommets (S9350/51/9451) Pk12 ¹	P-SO90060	2	3,2	6,4
35mm Servo Arm: Futaba/Black (Pk5) ³	P-RCA225	2	2,62	5,24
Futaba Y-Lead (HD) 300mm ¹	P-CFYL	5	2,1	10,5
Futaba Heavy Duty Wire 5m ¹	P-CF5MHD	2	7,48	14,96
Futaba Extension Lead (HD) 1000mm ¹	P-CF1000HD	6	2,13	12,78
Futaba Extension Lead (HD) 500mm ¹	P-CF0500HD	8	1,6	12,8
Rx Protection Pad – Fl.Yellow Strap ¹	F-MX-RXP-YEL	1	2,94	2,94
Prolongador 17.5cm ²	54100760	2	1,12	2,24
MPX-Conector Hembra M6) 3ST ²	MU85214	2	1,94	3,88
MPX-Conector Macho M6 (3ST ²	MU85213	2	1,94	3,88
Varios ²	X001	1	4,31	4,31
FEM.CONN.KIT-FUT ²	BMI83422	4	3,66	14,64
MALE.CONN.KIT-FUT ²	BMI83421	4	2,5	10
FUTABA EXTENSION LEAD 60CM ²	IM-HT142874	4	3,02	12,08
670 ARMS SUPER STRNTH FUT LONG ³	LXD668	1	7,37	7,37
CONTROL HORN LARGE SCALE (2) ³	L5AEJ606	6	2,01	12,06
Futaba Switch Harness (HD) 300mm	P-CFSH	2	3,2	6,4
Total Sistema				973,20 €

Tabla 10.8: Coste de servos y conectores. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Baterías	Referencia	Unidades	Precio	Total
Sigma EQ AC/DC Charger ¹	O-IP2851	1	77,07	77,07
ACT Duo Batt – ACT Futaba Receiver ¹	P-ACT554002	1	42,81	42,81
Hi-Energy 7.4v 4000mAh (10C)Li-Po.P ¹	O-HINLPC4000	1	74,93	74,93
Hi-Energy 7.4v 2000mAh (10C)Li-Po.P ¹	O-HINLPA2000	1	34,79	34,79
Batería 7.4 2200 MAH LiPo XP ²	OSXP22002G	1	40,52	40,52
Total Sistema				270,14 €

Tabla 10.9: Coste de baterías. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Adhesivos	Referencia	Unidades	Precio	Total
Z-POXY 30 Minute Epoxy – 227g/8oz ¹	S-ZAPPT39	3	13,9	41,7
Grip Rapid 5 Epoxy – 250g ¹	S-RA500	4	10,69	42,76
Grip Cyanoacrylate – Thin/50g ¹	S-RA15	7	6,41	44,87
Grip Cyanoacrylate – Medium/50g ¹	S-RA14	7	6,41	44,87
Grip Cyanoacrylate – Thick/50g ¹	S-RA16	5	6,41	32,05
Grip Cyano Debonder – 20ml ¹	S-RA19	1	3,2	3,2
Grip Cyanoactivator Aerosol – 200ml ¹	S-RA5	1	4,27	4,27
Model Lite L/wght Filler (Balsa) ¹	S-SE32A	1	6,69	6,69
Micro Balloons – 250cc ¹	S-SE23	1	7,48	7,48

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

Milled Fibreglass – 4oz/113g ¹	S-GPMR6165	1	6,41	6,41
Grip Clear Dope – 250ml ¹	S-RA710	1	2,67	2,67
Grip Nut & Stud Locker – 2x7ml ¹	S-RA20	1	2,67	2,67
Total Sistema				239,64 €

Tabla 10.10: Coste de Adhesivos. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Tornillería	Referencia	Unidades	Precio	Total
Cap Screw – 4-40 x 1/2" (Pk4) ¹	T-GPMQ3012	4	0,8	3,2
Cap Screw – 4-40 x 3/4" (Pk4) ¹	T-GPMQ3014	4	0,8	3,2
Cap Screw – 4-40 x 1-1/4" (Pk4) ¹	T-GPMQ3018	4	1,06	4,24
Cap Screw – 4-40 x 1" (Pk4) ¹	T-GPMQ3016	4	0,8	3,2
Cap Screw – 4-40 x 1-1/2" (Pk4) ¹	T-GPMQ3020	4	1,06	4,24
Cap Screw – 4-40 x 1-1/4" (Pk4) ¹	T-GPMQ3008	4	1,06	4,24
Nylon Insert Lock Nut – 4-40 (Pk4) ¹	T-GPMQ3344	10	0,8	8
T-Pins (Steel) – 1-1/4"/32mm(Pk100) ¹	F-HCAR5150	1	1,87	1,87
T-Pins (Steel) – 1"/25mm (Pk100) ¹	F-HCAR5100	1	1,6	1,6
T-Pins (Steel) – 1-1/2"/38mm(Pk100) ¹	F-HCAR5200	1	2,67	2,67
Threaded Insert (Brass) 4-40 (Pk4) ¹	T-GPMQ3360	10	1,33	13,3
Hex Nut – 4-40 (Pk8) ¹	T-GPMQ3304	5	0,53	2,65
Blind Nut – 4-40 (Pk4) ¹	T-GPMQ3324	11	0,8	8,8
Cap Screw (4-40x1") w/Bl.Nut (Pk4) ¹	T-GPMQ3504	2	1,33	2,66
Cap Screw (4-40x1") w/L.Nut (Pk4) ¹	T-GPMQ3544	2	1,33	2,66
Cap Screw (4-40x1-1/4")w/L.Nut(Pk4) ¹	T-GPMQ3545	2	1,33	2,66
Cap Screw(4-40x1-1/4")w/Bl.Nut(Pk4) ¹	T-GPMQ3505	2	1,33	2,66
No.4 Lock Washer (Pk8) ¹	T-GPMQ3432	3	0,8	2,4
No.4 Flat Washer (Pk8) ¹	T-GPMQ3402	3	0,8	2,4
ANDERSON CLIP FUEL 6.50MM ²	23098	2	1,9	3,8
Gewindestange M3X300mm ²	GRA1051	4	5,52	22,08
TUERCA AUTOEM.ACERO M3 ²	549011	1	2,93	2,93
ABRAZADERA TORRO INOX 8-16/9 W5 ⁵	13641572	1	6,7	6,7
25 T.METRICA C.AVELLAN A.ZINC. 3X30 ⁵	13578061	1	1,35	1,35
200 BRIDAS NYLON 2.5X100 BLANCO ⁵	12257763	1	2,45	2,45
50 BRIDAS NYLON 2.5X150 NEGRA ⁵	12257791	1	1,43	1,43
50 BRIDAS NYLON 5X200 BLANCA ⁵	12257833	1	4,15	4,15
15 T.METRICA C.HEXAGONAL A.ZINC 4X30 ⁵	13575674	1	1,5	1,5
12 T.METRICA C.HEXAGONAL A.ZINC 4X50 ⁵	13575695	1	1,5	1,5
STEEL T-PINS 1-1/2" (100) ³	LXL496	1	2,4	2,4
STEEL T-PINS 1" (100) ³	LXL494	1	1,67	1,67
STEEL T-PINS 1-1/4" (100) ³	LXL495	1	1,87	1,87
257 H/D HINGE & COTTER PIN (15) ³	L5D94403	3	3,83	11,49
Silent block 16mmx15mm ⁹	No aplicable	6	1,46	8,76
Silent block 16mmx20mm ⁹	No aplicable	10	1,47	14,7
Silent block 16mmx25mm ⁹	No aplicable	6	1,73	10,38
VARILLA ROSCADA A.INOX DIAM. 5mm ⁵	10224151	4	1,98	7,92
60 ARANDELAS AUTOBLOC GROWER DIAM	13576591	3	1,25	3,75

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

5mm ⁵				
30 TUERCAS AUTOBLOC A.ZINCADO DIAM 5mm ⁵	10949834	1	1,55	1,55
M4x40 Soc.Screw (4pcs) – Thor45 ¹	X-THR45-0250	2	0,8	1,6
14 T.METRICA C.HEXAGNAL INOX A2 5X20 ⁵	13574442	2	3,95	7,9
12 T.METRICA C.HEXAGNAL INOX A2 5X30 ⁵	13574456	2	3,95	7,9
40 TUERCAS HEXAGONAL INOX. A2 DIAM. 5mm ⁵	13575002	2	2,75	5,5
4 TUERCAS DE CLAVAR M5 ⁵	13619032	4	1,25	5
ESCUADRA ASIMETRICA 25X25X170X2MM IZDA. ⁵	13619823	2	0,75	1,5
ESCUADRA ASIMETRICA 25X25X170X2MM DCHA. ⁵	13619816	1	0,75	0,75
200 BRIDAS USO EXTERIOR D22MM NATURAL	10552192	1	3,67	3,67
BOLSA 100 TACOS ADHESIVOS	11833045	1	12,02	12,02
Total Sistema				234,87 €

Tabla 10.11: Coste de Tornillería. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Herramientas para construcción	Referencia	Unidades	Precio	Total
K1 Light Duty Knife w/B11 Blade ¹	T-EX16001	8	1,87	14,96
B11 Straight Blade No:1 (Pk5) ¹	T-EX20011	4	2,41	9,64
Lubrisil Paper-Medium ¹	T-LP150	4	0,91	3,64
Lubrisil Paper-Fine ¹	T-LP240	4	0,91	3,64
Lubrisil Paper-Xtra Fine ¹	T-LP320	4	0,84	3,36
Lubrisil Paper-Coarse ¹	T-LP080	4	0,95	3,8
Contour Sanding Block (280mm) Fine ¹	T-PGCB280F	1	24,61	24,61
Contour Sanding Block (280mm)Coarse ¹	T-PGCB280C	1	24,61	24,61
Velcro Tape ¹	F-MG090	4	3,74	14,96
TAMBOR DREMEL DE LIJAR 13MM ⁵	10867983	1	3,25	3,25
6 RECAMBIO DREMEL RODILLO LIJA 13MM FIN ⁵	10868011	1	2,65	2,65
Total Sistema				109,2 €

Tabla 10.12: Coste de herramientas para construcción. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Elementos de transmisión	Referencia	Unidades	Precio	Total
Lg Control Horn & Screws (Pk2) ¹	F-SL058	4	0,85	3,4
HD Screwlock Pushrod Connector(Pk2) ¹	F-GPMQ3875	5	1,6	8
Threaded Coupler – 4-40 .095”(Pk2) ¹	F-GPMQ3832	5	1,05	5,25
Threaded Steel Clevis 4-40 (Pk12) ¹	F-GPMQ3795	1	5,34	5,34
Nylon Hinges Metal Pin(Pk10) ¹	F-RCA142	11	1,4	15,4
Locking Clevis – 4-40 (Pk2) ¹	F-GPMQ3816	6	2,13	4,26
Solder Clevis – 4-40 (Pk12) ¹	F-GPMQ3815	1	6,41	6,41
Sullivan 4-40 Steel Rods Assorted ¹	F-SLN494	2	4,27	8,54
Steel Clevis w/12” Rod 4-40 (Pk12) ¹	F-GPMQ3785	1	13,65	13,65
Fully Threaded Rod 4-40x12” (Pk12) ¹	F-GPMQ3743	1	10,69	10,69
Swivel Ball Links – 4-40 (Pk4) ¹	F-GPMQ3864	6	4,55	27,3
Nylon Clevis – 2-56 (Pk 12) ¹	F-GPMQ3801	1	4,81	4,81
Total Sistema				113,05 €

Tabla 10.13: Coste de elementos de transmisión. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

Maderas (pedido 1)	Referencia	Unidades	Precio	Total
Balsa sheets ¹	W-BW43/10	91	0,84	76,44
Balsa sheets ¹	W-BW45/10	11	1,22	13,42
Balsa sheets ¹	W-BW36/5	7	1,19	8,33
Balsa strips ¹	W-L243/10	34	0,18	6,12
Balsa trailing edge triangular ¹	W-L570/5	4	1,01	4,04
Balsa trailing edge triangular ¹	W-L560/5	3	0,7	2,1
Balsa trailing edge ¹	W-L460/10	3	0,96	2,88
Balsa trailing edge ¹	W-L450/10	3	0,76	2,28
Balsa leading edge ¹	W-L360/5	4	1,77	7,08
Balsa leading edge ¹	W-L350/5	3	1,11	3,33
Balsa block ¹	W-L142	2	6,2	12,4
Spruce strip ¹	W-SP262/10	48	0,67	32,16
Plywood Sheeting ¹	W-PW402	3	2,49	7,47
Plywood Sheeting ¹	W-PW403	3	3,72	11,16
Plywood Sheeting ¹	W-PW405	2	9,93	19,86
Plywood Sheeting ¹	W-PW602	2	4,28	8,56
Total Sistema				217,63 €

Tabla 10.14: Coste del primer pedido de maderas. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Maderas (pedido 2)	Referencia	Unidades	Precio	Total
Balsa sheets ¹	W-BW43/10	90	0,84	75,6
Balsa sheets ¹	W-BW45/10	11	1,22	13,42
Balsa sheets ¹	W-BW36/5	7	1,19	8,33
Balsa strips ¹	W-L243/10	34	0,18	6,12
Balsa trailing edge triangular ¹	W-L570/5	4	1,01	4,04
Balsa trailing edge triangular ¹	W-L560/5	3	0,7	2,1
Balsa trailing edge ¹	W-L460/10	3	0,96	2,88
Balsa trailing edge ¹	W-L450/10	3	0,76	2,28
Balsa leading edge ¹	W-L360/5	4	1,77	7,08
Balsa leading edge ¹	W-L350/5	3	1,11	3,33
Balsa block ¹	W-L142	2	6,2	12,4
Spruce strip ¹	W-SP261/10	48	0,79	37,92
Plywood Sheeting ¹	W-PW402	6	2,49	14,94
Plywood Sheeting ¹	W-PW403	6	3,72	22,32
Plywood Sheeting ¹	W-PW405	4	9,93	39,72
Plywood Sheeting ¹	W-PW602	2	4,28	8,56
Plywood Sheeting ¹	W-PW502	3	4,97	14,91
Total Sistema				275,95 €

Tabla 10.15: Coste del segundo pedido de maderas. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Recubrimientos y pintura	Referencia	Unidades	Precio	Total
Top Flite Monokote Missile Red 6' ³	LXHV19	1	13,9	13,9
Top Flite Monokote Jet White 6' ³	LXHV22	1	13,9	13,9
Pintura Roja Spry ⁸	No aplicable	1	13,5	13,50

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

SPRAY RADIADORES 400ML BLANCO ⁵	39353505	2	9,95	19.9
Adhesivos ¹¹	No aplicable	28	--	120 €
Total Sistema				147,80 €

Tabla 10.16: Coste de recubrimientos y pintura. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Tren de aterrizaje	Referencia	Unidades	Precio	Total
684 Fork RoboStrut (tren auxiliar) ⁶	No disponible	2	51,34	102,68
Tren en fibra 3000 EXTRA ⁷	No disponible	1	79	79
500TL THREADED LITE WHEEL 5" ⁴	L5D78503	3	10,38	31,14
Total Sistema				212,82 €

Tabla 10.17: Coste de tren de aterrizaje. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Tubos de cola	Referencia	Unidades	Precio	Total
Tubos de cola ⁵	No disponible	12 metros	2,083	25
Total Sistema				25 €

Tabla 10.18: Coste de los tubos de cola. Fuente: Consultar fin de epígrafe.

Fuentes (Para los centros comerciales donde no se ha realizado la compra online, bien porque no es viable, bien porque se encuentra cercano a nuestro lugar de trabajo, se facilitan datos de ubicación y contacto. Si estos datos no se especifican, las compras en estos establecimientos se hicieron vía internet)

¹ <www.ripmax.com>

² <www.modelexpertrc.com>

³ <www.towerhobbies.com>

⁴ <www.greatplanes.com>

⁵ <www.leroymerlin.es>, Tomares (Sevilla), Centro Comercial Aljarafe, Teléfono 954 151 080

⁶ <www.robart.com>

⁷ <www.tienda2000.com>, Utrera (Sevilla) C/San Carlos Borromeo nº 9 Local 1, Teléfono 954 863 888

⁸ <www.elcorteingles.com>, Centro de S. J. de Aznalfarache, Camino de las Erillas, s/n. Teléfono 954 349 400

⁹ Gomas Vera Hermanos, S.L. Pol. Ind. Los Girasoles – C/Gitanilla nº 5, Teléfono 955 982 833

¹⁰ Cepsa Estaciones de Servicio S.A.

¹¹ Rotulaciones Quintero, Plg. Ind. Calonge – C/Bronce nº 6B, Teléfono 954 359 151

11. Gestión del proyecto Céfiro¹¹

El propósito de esta sección es analizar el Proyecto Céfiro, con objeto de cualificar y mejorar la gestión de este programa en futuras versiones del UAV Céfiro.

11.1 Actividades realizadas en el Proyecto Céfiro

Conforme al propósito mencionado anteriormente, conviene hacer un desglose de las actividades que se desarrollan en el proceso productivo como muestra la tabla 11.1. En esta tabla aparecen las actividades generales desarrolladas durante el proceso productivo del UAV, que se extendió desde Noviembre de 2008 a Mayo de 2009. De forma concreta, dicha tabla se estructura como sigue:

- Columna nº 1: enumera las actividades realizadas.
- Columna nº 2: especifica un nombre para cada una de las tareas a realizar.
- Columna nº 3: indica las relaciones de precedencia entre las actividades, es decir, la interrelación que ha de establecerse entre las mismas para poder completarlas. Estas relaciones están basadas en la experiencia desarrollada, pero evidentemente pueden alterarse, ya que hay actividades que pueden realizarse en paralelo, o que no requieren de la realización de otras previas. Indudablemente, todo ello está sujeto a la al grado de disponibilidad de operarios y recursos.
- Columna nº 4: proporciona una duración aproximada para las tareas, en función de la experiencia acumulada.

Actividad	Descripción	Predecesoras	Duración Estimada (días)
A	Corte de componentes con máquina CNC	-	10
B	Construcción de Utillajes	A	4
C	Construcción Extremo de Ala Izquierda	A,B	3
D	Construcción de Alerón y Flap Ala Izquierda (Alineando con Extremo de Ala Izquierda)	A,C	0,5
E	Construcción Extremo de Ala Derecha	A,B	3
F	Construcción de Alerón y Flap Ala Derecha (Alineando con Extremo de Ala Derecha)	A,E	0,5
G	Construcción Estabilizador Horizontal	A,B	2
H	Construcción de Timón de Profundidad (Alineando con Estabilizador H)	A,G	0,5
I	Construcción de Estabilizadores Verticales	A	1
J	Construcción de Timones de Dirección (Alineando con Estabilizador V)	A,I	0,5
K	Construcción de Morro	A,B	4
L	Construcción de Fuselaje Principal	A,B,K	4
M	Construcción de Ala Central	A,B,L	2
N	Unión Ala Central - Fuselaje Principal	L,M	1
O	Recubrir parcialmente el Fuselaje (excepto zona de Tren, y área posterior superior)	L	3
P	Recubrir parcialmente Morro (Excepto zona de tren)	K	2

¹¹ Este epígrafe está basado en

[36] Ignacio Eguía Salinas. "Apuntes de Gestión de Programas Aeronáuticos", Sevilla, curso 2007/2008

[41] Daniel Pérez Alcaraz. "Diseño estructural y construcción de un avión no tripulado: El proyecto Céfiro", Sevilla, curso 2008/2009

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

Q	Recubrir intradós de Extremos de Ala (Izquierda / Derecha) y Estabilizadores (H / V)	C,E,G,I	2
R	Recubrir una cara de superficies de control	D,F,H,J	0,5
S	Preparación y colocación de las cogidas de Tubos de Cola en Ala Central	M	3
T	Preparación y colocación de las cogidas de Tubos de Cola en Estabilizadores	G,I	2
U	Colocación de superficies de control	D,F,H,J	1
V	Colocar Tren Principal en Fuselaje Central	L	2
W	Colocar Tren Auxiliar	K	1
X	Integrar sistema de mandos	Q,R,U,W	7
Y	Completar todos los recubrimientos de los distintos módulos y crear compuertas de acceso a servos	X	7
Z	Integrar Tubos de Cola	Y	1
A1	Pruebas Funcionales	Z	10
B1	Conexión del sistema eléctrico	A1	1
C1	Integrar Planta de potencia	A1	2
D1	Integración de sistema de combustible	C1	1
E1	Acondicionamiento interior y cierre. Lijado y corrección de defectos.	D1	5
F1	Recubrimientos y pintura	E1	10

Tabla 11.1: Actividades Generales o Tareas del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Cabe subrayar que las tareas de la tabla 11.1 son actividades generales, lo que quiere decir, que dentro de ellas se tienen muchas otras actividades cuyo objetivo es la consecución de esa actividad general. De forma detallada, estas sub-actividades realizadas se plasman en la tabla 11.2 (es importante tener en cuenta que los datos que recoge esta tabla son un extracto de [41], para más información consultar dicho documento).

Actividad General	Descripción	Sub-actividades
A	Corte de componentes con máquina CNC	Cortar todas las piezas de madera (balsa, contrachapado y pino) en base a los archivos generados con VCarve Pro
B	Construcción de Utillajes	Utillaje compartido para Morro y Fuselaje Principal
		Utillaje compartido para Ala Central y Extremos de Ala
		Utillaje para Estabilizador Horizontal
C	Construcción Extremo de Ala Izquierda	Lijado de todas las piezas de Extremo de Ala
		Pegar marcos de refuerzo para servos en las costillas correspondientes (pegado con epoxi)
		Introducir las costillas de la 5 a la 12 (consultar [41]) en orden correcto (en utillaje correspondiente)
		Ubicar en zona de encastre el utillaje posicionador
		Colocar utillaje referenciador o delimitador para posicionar costillas (3 o 4 unidades), contactando su extremo con el posicionador
		Colocar borde de salida donde conecta el Alerón (pegado con cianocrilato rápido entre costillas 7 y 12)

		Preparar dos larguerillos (delanteros) en madera de picea de 1065 mm (10 mm de sobrante) y colocarlos contactando su extremo con el posicionador
		Pegado de los dos larguerillos delanteros a las costillas (con epoxi)
		Cortar dos larguerillos traseros en madera de picea a 700 mm (8 mm de sobrante)
		Lijar los dos larguerillos traseros, colocar su extremos en contacto con el borde de salida y posicionador respectivamente (pegar con epoxi)
		Colocar refuerzos laterales de contrachapado contactando los larguerillos superiores e inferiores (anteriores y posteriores) (emplear utillaje correspondiente)
		Introducir las costillas de la 1 a la 4 (consultar [41]) (pegado de sus 3 secciones con epoxi, o bien cianocrilato + larguerillos cuadrados de balsa)
		Colocar borde de salida donde conecta el Flap
		Colocar almas entre larguerillos (pegado con cianocrilato)
		Preparar borde de ataque con longitud 1065 mm (10 mm de sobrante) y colocarlo (pegado con cianocrilato)
D	Construcción de Alerón y Flap Ala Izquierda (Alineando con Extremo de Ala Izquierda)	Lijado de todas las piezas de Alerón y Flap de Extremo de Ala Izquierda
		Construcción manual sobre plano (pegado con cianocrilato)
E	Construcción Extremo de Ala Derecha	Ver Actividad C
F	Construcción de Alerón y Flap Ala Derecha (Alineando con Extremo de Ala Derecha)	Ver Actividad D
G	Construcción Estabilizador Horizontal	Lijado de todas las piezas de Estabilizador Horizontal
		Pegar marcos de refuerzo para servos en las costillas correspondientes (pegado con epoxi)
		Introducir costillas en el orden correcto
		Colocar utillaje referenciador o delimitador para posicionar costillas (3 o 4 unidades)
		Cortar borde de salida a 600 mm y colocar (pegado con cianocrilato)
		Cortar borde de ataque a 600 mm y colocar (pegado con cianocrilato)
		Preparar larguerillos (cortar a 600 mm de longitud y sección de 1/4" x 3/8") y colocar (pegado con epoxi)
		Colocar refuerzos laterales de contrachapado (o picea) contactando los larguerillos superior e inferior y a ambos lados del extremo de borde de salida (pegado con epoxi)
H	Construcción del	Lijado de todas las piezas del Timón de Profundidad

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

	Timón de Profundidad (Alineando con Estabilizador Horizontal)	Construcción manual sobre plano (pegado con cianocrilato)
I	Construcción de Estabilizadores Verticales	Lijado de todas las piezas de Estabilizadores Vertical
		Construcción manual sobre plano (pegado con cianocrilato)
J	Construcción de Timones de Dirección (Alineando con Estabilizador Vertical)	Lijado de todas las piezas de Timones de Dirección
		Construcción manual sobre plano (pegado con cianocrilato)
K	Construcción de Morro	Lijado de todas las piezas del Fuselaje de Morro
		Ensamblar las cuadernas y pegar refuerzos en zonas proclives a aparición de grietas
		Ensamblar largueros maestros y acoplarlos en el utillaje correspondiente
		Colocar la cuaderna del encastre y las 4 primeras de balsa de forma invertida (espaciar las cuadernas con utillaje referenciador o delimitador) (pegado con epoxi)
		Colocar los cruces intermedios de las cuadernas correspondientes (pegado con epoxi)
		Colocar suelo (pegado con epoxi)
		Colocar la 5ª cuaderna (M2) y su cruce intermedio (pegado con epoxi)
		Colocar larguerillos hasta la 4ª cuaderna (M3) de balsa (exceptuando los dos inferiores) (pegado con cianocrilato)
		Colocar larguerillos desde la 4ª a la 5ª cuaderna (M3 y M2 respectivamente)(exceptuando los dos inferiores) (spray de agua para curvar y pegado con cianocrilato)
		Colocar la 6ª cuaderna (M1) y los larguerillos de forma simultánea (spray de agua para curvar y pegado con cianocrilato)
		Cortar sobrante de larguerillos
L	Construcción de Fuselaje Principal	Lijado de todas las piezas de Fuselaje Principal
		Ensamblar las cuadernas de balsa y pegar refuerzos en zonas proclives a aparición de grietas (pegado con cianocrilato)
		Colocar los refuerzos para las cuadernas de conexión al Ala Central (pegado con epoxi)
		Preparar los largueros maestros (larguerillos de picea, refuerzos de contrachapado y núcleo de pino - pegado del conjunto con epoxi) e introducirlos en utillaje correspondiente (alinearlos con largueros hembra de Morro)
		Introducir las cuadernas en orden -excepto cuaderna cortafuegos y cuaderna de unión con Morro-, en posición invertida, y espaciarlas con utillaje referenciador o delimitador (3 o 4 unidades) (pegado de las cuadernas de contrachapado con epoxi, las de balsa con epoxi, o bien

		cianocrilato + larguerillos cuadrados de balsa)
		Colocar los cruces intermedios de las cuaderñas correspondientes (pegado con epoxi para contrachapado, cianocrilato para balsa)
		Colocar el suelo (pegado con epoxi)
		Introducir paredes laterales (pegado con cianocrilato)
		Colocar las cuaderñas de cortafuego y de unión con Morro (pegado con epoxi)
		Colocar larguerillos (spray de agua y pegado con cianocrilato) (excepto los 4 inferiores)
M	Construcción de Ala Central	Lijado de todas las piezas de Ala Central
		Preparar los largueros delantero y trasero (larguerillos de picea, refuerzos de contrachapado y núcleo de pino - pegado del conjunto con epoxi-)
		Introducir las tres secciones de cada costilla (excepto las correspondientes a la primera y última costillas) y espaciarlas con utillaje delimitador o referenciador (una unidad)
		Posicionar utillaje separador y encajar en el mismo los largueros delantero y trasero
		Colocar las costillas (pegado con epoxi, o bien cianocrilato + larguerillos cuadrados de balsa)
		Colocar la primera y la última costilla, coincidiendo con el final del refuerzo de contrachapado (pegado con epoxi o bien cianocrilato + larguerillos cuadrados de balsa)
N	Unión Ala Central - Fuselaje Principal	Colocar las chapas de acero y las uniones atornilladas correspondientes
O	Recubrir parcialmente Fuselaje Principal (Excepto zona de Tren Principal, y área posterior superior)	Pegado de láminas de pequeño tamaño (cianocrilato) y corrección de transición entre las mismas (suavizado de la superficie)
P	Recubrir parcialmente Morro (Excepto zona de Tren Auxiliar)	Pegado de láminas de pequeño tamaño (cianocrilato) y corrección de transición entre las mismas (suavizado de la superficie)
Q	Recubrir intradós de Extremos de Ala (Izquierda / Derecha) y Estabilizadores)	Pegado de láminas de pequeño tamaño (cianocrilato) y corrección de transición entre las mismas (suavizado de la superficie)
R	Recubrir una cara de superficies de control	Pegado de láminas de pequeño tamaño (cianocrilato) y corrección de transición entre las mismas (suavizado de la superficie). Se recubre el lado donde irá colocada la escuadra de mando
S	Preparación y colocación cogidas Tubos de Cola en Ala Central	Preparar placas de acero y colocarlas en largueros de Ala Central
		Acoplar el tubo de acero en los huecos de las placas y soldar

T	Preparación y colocación cogidas Tubos de Cola en Estabilizadores	Ver actividad S
U	Colocación de superficies de control	Realizar las ranuras en bordes de salida de Alas y Estabilizadores para acoplar las bisagras (aplicar epoxi a las mismas e introducir una de sus pestañas en las ranuras practicadas)
V	Colocar Tren Principal en Fuselaje central	Reforzar la zona de cogida con dos piezas de contrachapado acopladas a largueros maestros, y una tercera, también de contrachapado, a la que se une la placa donde agarra el tren (pegado del conjunto con epoxi) Montar las 4 uniones atornilladas que aseguran el tren trasero a la estructura
W	Colocar Tren Auxiliar	Cortar un bloque de Nylon que aloja la pata del Tren Auxiliar Colocar la pieza de contrachapado entre largueros maestros y suelo (pegado con epoxi) Atornillar mediante cuatro conjuntos, el bloque a la pieza de contrachapado Fabricar pieza de Aluminio para dotar de direccionalidad al tren Alojar el tren en el bloque de Nylon, y sujetarlo mediante abrazadera metálica ajustable colocada por encima del suelo de Morro, contactando con él
X	Integrar sistema de mandos	1. Sistema de mandos de vuelo: a) Atornillar servos en las costillas de Ala y Cola correspondientes, que hayan sido reforzadas previamente con contrachapado b) Pegar con epoxi y atornillar las escuadras de mando en la línea de acción de los servos (reforzar la zona de cogida en la superficie de control con láminas de contrachapado) c) Montar los elementos para la transmisión que enlazan la escuadra de mando con el servo d) Conectar una extensión simple de cable para los servos y dirigirlos hacia al Fuselaje Principal 2. Sistema de dirección del Tren Auxiliar: a) Atornillar el servo en su posición correspondiente b) Montar los elementos para la transmisión que enlazan el tren con el servo c) Conectar una extensión simple de cable para los servos y dirigirlos hacia al Fuselaje Principal 3) Sistema de control de potencia de Motor: a) Atornillar el servo en su posición correspondiente y enlazar con receptor

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

		b) Doblar una varilla de transmisión de forma adecuada para enlazar el servo con la palometa de combustible																	
Y	Completar todos los recubrimientos de los distintos módulos y crear compuertas de acceso a servos	<p>Recubrir con balsa todos los huecos y zonas internas visibles dejadas en la Actividades O, P, Q, R</p> <p>Crear compuertas de acceso a servos en Extremos de Ala y Cola (cortar el recubrimiento con las dimensiones de compuerta deseada)</p>																	
Z	Integrar Tubos de Cola	<p>Preparar piezas de Nylon empleadas en los agarres de tubos de cola a las cogidas de Ala y Cola</p> <p>Cortar tubo de Al de 30 mm y espesor 2 mm a 1230 mm</p> <p>Colocar los Tubos de Cola en las cogidas y colocar la unión atornillada</p>																	
A1	Pruebas Funcionales	<table border="1"> <tr> <td rowspan="10">Pruebas <i>Indoor</i></td> <td>Continuidad de la instalación de cableado</td> </tr> <tr> <td>Reglaje de mandos de vuelo, Timón de Profundidad</td> </tr> <tr> <td>Reglaje de mandos de vuelo, Timones de Dirección</td> </tr> <tr> <td>Reglaje de mandos de vuelo, Alerones</td> </tr> <tr> <td>Reglaje de Flaps</td> </tr> <tr> <td>Reglaje del mando dirección de Tren Auxiliar</td> </tr> <tr> <td>Barrido de ángulos de deflexión de Alerones</td> </tr> <tr> <td>Barrido de ángulos de deflexión del Timón de Profundidad</td> </tr> <tr> <td>Barrido de ángulos de deflexión de los Timones de Dirección</td> </tr> <tr> <td>Respuesta de la dirección del Tren Auxiliar</td> </tr> <tr> <td>Actuación de Flaps</td> </tr> <tr> <td>Pesaje del UAV</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Pruebas <i>Outdoor</i></td> <td>Rodaje de motor en banco</td> </tr> <tr> <td>Funcionamiento de los sistemas con el motor en marcha</td> </tr> <tr> <td>Rango de captación de la señal radiada por la emisora</td> </tr> </table>	Pruebas <i>Indoor</i>	Continuidad de la instalación de cableado	Reglaje de mandos de vuelo, Timón de Profundidad	Reglaje de mandos de vuelo, Timones de Dirección	Reglaje de mandos de vuelo, Alerones	Reglaje de Flaps	Reglaje del mando dirección de Tren Auxiliar	Barrido de ángulos de deflexión de Alerones	Barrido de ángulos de deflexión del Timón de Profundidad	Barrido de ángulos de deflexión de los Timones de Dirección	Respuesta de la dirección del Tren Auxiliar	Actuación de Flaps	Pesaje del UAV	Pruebas <i>Outdoor</i>	Rodaje de motor en banco	Funcionamiento de los sistemas con el motor en marcha	Rango de captación de la señal radiada por la emisora
Pruebas <i>Indoor</i>	Continuidad de la instalación de cableado																		
	Reglaje de mandos de vuelo, Timón de Profundidad																		
	Reglaje de mandos de vuelo, Timones de Dirección																		
	Reglaje de mandos de vuelo, Alerones																		
	Reglaje de Flaps																		
	Reglaje del mando dirección de Tren Auxiliar																		
	Barrido de ángulos de deflexión de Alerones																		
	Barrido de ángulos de deflexión del Timón de Profundidad																		
	Barrido de ángulos de deflexión de los Timones de Dirección																		
	Respuesta de la dirección del Tren Auxiliar																		
Actuación de Flaps																			
Pesaje del UAV																			
Pruebas <i>Outdoor</i>	Rodaje de motor en banco																		
	Funcionamiento de los sistemas con el motor en marcha																		
	Rango de captación de la señal radiada por la emisora																		
B1	Conexión del sistema eléctrico	<p>Colocar receptor en el larguero delantero del Ala Central mediante velcro. Extraer su antena por un agujero abierto en el lateral del Fuselaje Principal y extenderla a lo largo del mismo, pegándola con cinta aislante roja</p> <p>Colocar la bandeja de aviónica en el Fuselaje Principal con las baterías y regulador de tensión, instalados previamente en ella mediante velcro (chequear que las baterías están cargadas). Conectar con el receptor</p> <p>Instalar el filtro de picos de tensión y conectar con receptor</p>																	

		Conectar todos los servos e interruptores con el receptor en los canales especificados
		Instalar el módulo de ignición electrónica y realizar las conexiones con interruptor, receptor
C1	Integrar planta de potencia (habiendo equipado previamente la misma)	Cortar plancha de Al
		Colocar las uniones asociadas al montaje de motor y la plancha de Al
		Colocar los amortiguadores
		Atornillar el motor a la plancha de Al
		Realizar las conexiones del módulo de ignición electrónica con el motor (bujía + cable sensor)
		Repasar bien todos las uniones
D1	Integración del sistema de combustible	Preparar los conductos de latón en el tapón del tanque de combustible
		Colocar la conducción interior al tanque de combustible
		Colocar la conducción de ventilación
		Preparar y montar el segmento que enlaza la alimentación con el carburador
		Cubrir el suelo de la zona de posicionamiento del tanque con epoxi
		Situar el tanque de combustible en el Fuselaje Principal encajado entre una pared lateral y un panel instalado previamente (ambas superficies deben recubrirse antes con goma espuma) y completar las conexiones
E1	Acondicionamiento interior y cierre. Lijado y corrección de defectos	Colocar bien todo el cableado, empleando bridas convencionales y de base adhesiva
		Lijar bien las zonas de compuertas, bordes de ataque, transición Morro – Fuselaje Central y zona de Tren Principal
		Colocar la carga de pago en la zona de morro (instalarla mediante el sistema dispuesto para ello)
F1	Recubrimientos y pintura (esta actividad puede desarrollarse parcialmente antes de la integración de los sistemas en la aeronave)	Desmontar Tubos de Cola y pintar en zona bien ventilada con spray blanco
		Desmontar motor y su cogida, y pintar cuaderna cortafuegos en zona bien ventilada con spray rojo
		Desmontar Extremos de Ala y Cola, y pintar en zona bien ventilada las puntas de Ala y Estabilizadores Verticales con spray blanco
		Desmontar hélice y pintar las puntas de color amarillo
		Desmontar los sistemas de la aeronave, y aplicar recubrimientos termo-adhesivos a los diferentes módulos que componen el UAV (rojo y blanco)

Tabla 11.2: Actividades Generales y sub-actividades del proyecto. Fuente: Elaboración propia a partir de [41]

11.2 Planificación del las actividades realizadas en el Proyecto Céfiro

Con la información del epígrafe anterior, haciendo uso de la herramienta Microsoft Office Project 2003, se tratarán los datos para proponer una duración estimada del proyecto. Sin embargo, antes de hacer eso, hay que establecer un calendario laboral, para lo cual, con objeto de ser fieles a lo acontecido en el proceso de construcción del Céfiro 01, se tiene lo siguiente (imágenes 11.1 y 11.2):



Imagen 11.1: Calendario Laboral Proyecto Céfiro. Fuente: Microsoft Office Project 2003

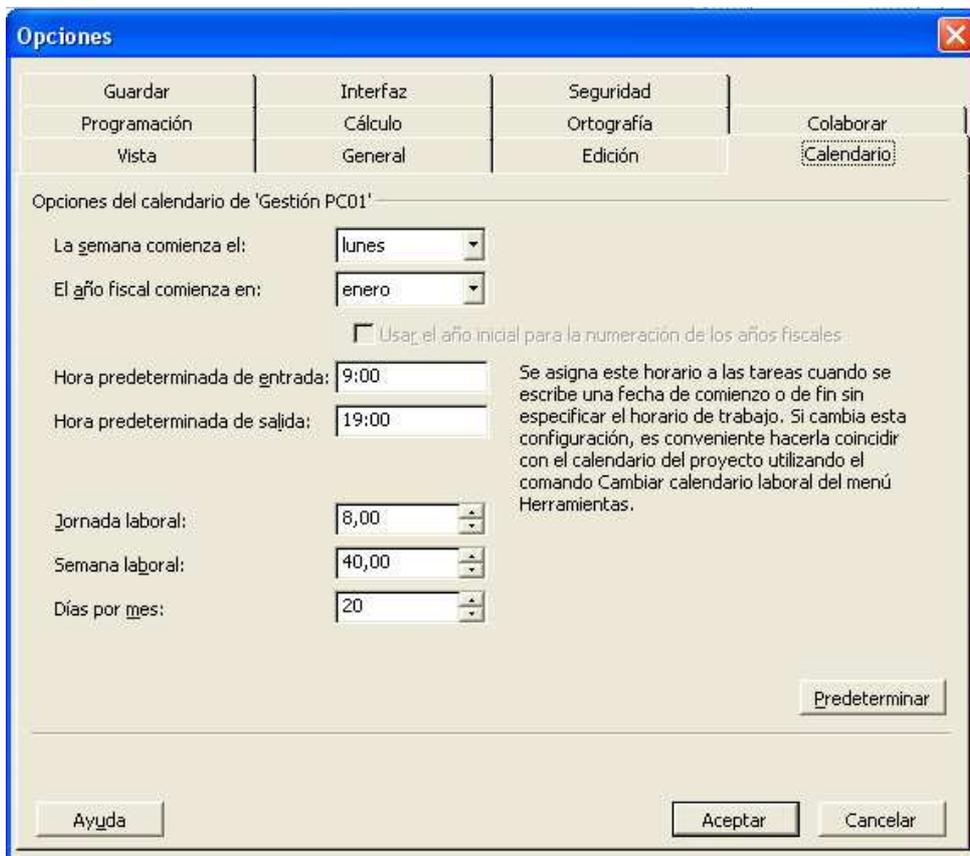


Imagen 11.2: Resumen de Calendario. Fuente: Microsoft Office Project 2003

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfiro

Como puede apreciarse en las imágenes 11.1 y 11.2, la jornada laboral será de Lunes a Viernes, 8 hr al día, comenzando en Noviembre, todo ello, para ser acordes con el proceso real (para cambiar el calendario hacer click en la pestaña *Herramientas > Cambiar calendario laboral*. Para ver el resumen de calendario hacer click en *Opciones > Pestaña Calendario*). Se han incluido además el período del 22 al 31 de Diciembre, y las semanas de Abril del 6 al 10 (Semana Santa de Sevilla) y del 20 al 24 (Feria de Abril de Sevilla) como períodos no laborables.

A continuación se introducen las actividades de la tabla 11.1 en la hoja que muestra la ventana de entrada al programa, con sus correspondientes duraciones y actividades predecesoras. El resultado que se obtiene se muestra en la tabla 11.3, donde además se ha seleccionado la pestaña *Proyecto > Información del proyecto* para cambiar la fecha de comienzo del proyecto (imagen 11.3).

Gestión Proyecto Céfiro	62 días	03/11/2008	09/02/2009
Corte de componentes con máquina CNC	10 días	03/11/2008	14/11/2008
Construcción de Utillajes	4 días	17/11/2008	20/11/2008
Construcción Extremo de Ala Izquierda	3 días	21/11/2008	25/11/2008
Construcción de Alerón y Flap Ala Izquierda (Alineando con Extremo de Ala Izquierda)	0,5 días	26/11/2008	26/11/2008
Construcción Extremo de Ala Derecha	3 días	21/11/2008	25/11/2008
Construcción de Alerón y Flap Ala Derecha (Alineando con Extremo de Ala Derecha)	0,5 días	26/11/2008	26/11/2008
Construcción Estabilizador Horizontal	2 días	21/11/2008	24/11/2008
Construcción de Timón de Profundidad (Alineando con Estabilizador H)	0,5 días	25/11/2008	25/11/2008
Construcción de Estabilizadores Verticales	1 día	17/11/2008	17/11/2008
Construcción de Timones de Dirección (Alineando con Estabilizador Vertical)	0,5 días	18/11/2008	18/11/2008
Construcción de Morro	4 días	21/11/2008	26/11/2008
Construcción de Fuselaje	4 días	27/11/2008	02/12/2008
Construcción Ala Central	2 días	03/12/2008	04/12/2008
Unión Ala Central - Fuselaje (Fijación atornillada)	1 día	05/12/2008	05/12/2008
Recubrir parcialmente Fuselaje (excepto zona de Tren y posterior superior)	3 días	03/12/2008	05/12/2008
Recubrir parcialmente Morro (Excepto zona de tren)	2 días	27/11/2008	28/11/2008
Recubrir intradós de Extremos de Ala (Izquierda y Derecha) y Estabilizadores (H/ V)	2 días	26/11/2008	27/11/2008
Recubrir una cara de superficies de control	0,5 días	26/11/2008	26/11/2008
Preparación y colocación cogidas Tubos de Cola en Ala Central	3 días	05/12/2008	10/12/2008
Preparación y colocación cogidas Tubos de Cola en Cola	2 días	25/11/2008	26/11/2008
Colocación de superficies de control	1 día	26/11/2008	27/11/2008
Colocar Tren Principal en Fuselaje	2 días	03/12/2008	04/12/2008
Colocar Tren Auxiliar	1 día	27/11/2008	27/11/2008
Integrar sistema de mandos	7 días	28/11/2008	09/12/2008
Completar todos los recubrimientos de los distintos módulos y crear compuertas de acceso a servos	7 días	09/12/2008	18/12/2008
Integrar Tubos de Cola	1 día	18/12/2008	19/12/2008
Pruebas Funcionales	10 días	19/12/2008	14/01/2009

Conexionado del sistema electrónico	1 día	14/01/2009	15/01/2009
Integrar Planta de potencia	2 días	14/01/2009	16/01/2009
Integración de sistema de combustible	1 día	16/01/2009	19/01/2009
Acondicionamiento interior y cierre / Lijado y corrección de defectos	5 días	19/01/2009	26/01/2009
Recubrimientos y pintura	10 días	26/01/2009	09/02/2009

Tabla 11.3: Tabla de resumen del proyecto. Fuente: Microsoft Office Project 2003



Imagen 11.3: Asignación de la fecha de comienzo al Proyecto Céfiro. Fuente: Microsoft Office Project 2003

En la tabla 11.3 figuran las fechas de comienzo y fin de las actividades (tercera y cuarta columnas respectivamente), indicándose en la primera fila la duración total del proyecto, 62 días. Esta información es válida bajo el supuesto de no ocurrir retrasos, algo que ineludiblemente no se ha podido evitar en la construcción del Céfiro 01 debido principalmente a la falta de *know-how*, y a que ha habido semanas en las que han trabajado menos personas, o que por cualquier otra eventualidad no se ha podido trabajar.

Como complemento a la tabla 11.3 se ha generado un diagrama de Gantt (pinchar en la pestaña *Ver > Diagrama de Gantt*) (página subsiguiente a la actual) en el que se muestran las actividades catalogadas como críticas (de color rojo), y las no críticas (de color azul). Las primeras son aquellas que al retrasarse en el tiempo, posponen el fin del proyecto, mientras que las no críticas pueden retrasarse un cierto tiempo (lo que se conoce como holgura de la actividad) sin generar demoras en la entrega.

Como se ha indicado previamente, las relaciones de precedencia de las actividades, están sujetas a interpretación y a aspectos coyunturales del proceso constructivo, no obstante, en tanto en cuanto lo propuesto en este epígrafe está basado en la experiencia vivida desde dos enfoques, como operario y como ingeniería de procesos, se entiende que la información aquí presentada constituye una estimación realista de la duración del proceso de construcción. En base a lo anterior hay que destacar que debería de servir como pauta para futuras programaciones del Proyecto Céfiro.

12. Valoraciones personales

“Vamos al aire, si todo va bien” fueron las palabras que dieron paso al éxito del Proyecto Céfiro, cuando en Julio de 2009 alzó el vuelo en la pista de un aeródromo a las afueras de Sevilla. Dicho vuelo confirma la superación de los objetivos iniciales de un proyecto, sujeto a la obligación de avanzar para satisfacer las necesidades de investigación del Departamento de [Ingeniería Aeroespacial](#).

Este apartado ha sido concebido para servir de base a posibles mejoras en el Céfiro 02, el segundo avión que actualmente está en construcción. De acuerdo con este propósito, fundado en la experiencia personal, [se considera](#) que se deberían barajar las siguientes [propuestas de mejora](#).

12.1 Propuestas de mejora en el proceso de Fabricación

Esta sección propone alternativas de mejora para tres áreas:

1. Requisitos de herramientas

La necesidad de mejora en cuanto a herramientas se manifiesta en dos vías:

- Máquina de control numérico:

Si bien es cierto que la estación de fresado CNC permite automatizar en cierto grado los procesos de corte, también exige familiarizarse con ella, lo cual supone una pérdida de tiempo efectivo en el proceso de fabricación. En este aspecto, al ya haber transferido la experiencia acumulada en el Céfiro 01 a los alumnos encargados de continuar con el proyecto, se admite que los tiempos invertidos en las actividades de corte se van a reducir notablemente. Sin embargo, el corte CNC puede ser enormemente optimizado, en términos de: herramientas a emplear, parámetros de corte y métodos de sujeción de los materiales a cortar (este último factor es donde debe ponerse especial hincapié, ya que el seguido hasta la fecha es realmente lento y entorpece en demasía el ritmo de corte). Así es, los conocimientos que el autor de este proyecto fin de carrera ha adquirido y transmitido, no dejan de ser una base sobre la que seguir experimentando, ya que, desgraciadamente, con objeto de no extender en demasía el proceso de fabricación, no se pudo experimentar lo suficiente.

Asimismo, acerca de la máquina CNC, sería aconsejable sustituir el ordenador que está conectado a la misma, y colocar en su lugar un equipo más potente.

- Otras herramientas:

Útiles como las atornilladoras manuales o el Metabo deben encontrarse en el laboratorio de Ingeniería Aeroespacial por duplicado, ya que su uso es frecuente, y en muchas ocasiones se ha tenido que esperar para emplearlas, por estar siendo usadas o enchufadas a la red para ser cargar sus baterías.

2. Componentes y materiales

Puesto que los materiales y componentes que se emplean en el UAV ya han sido definidos en el Céfiro 01, a expensas de las modificaciones que se impongan para el Céfiro 02 por motivos de optimización en términos de peso o diseño estructural, no existirían novedades en estos campos. De acuerdo con esta idea, es recomendable disponer de un stock de elementos críticos para el funcionamiento de la aeronave, especialmente, los asociados al

sistema de comunicaciones (receptores y servos), de planta de potencia (bujías principalmente) y de tren de aterrizaje (repuestos de las patas de Tren Auxiliar y Tren Principal).

Igualmente, se cree conveniente sustituir el monokote por otro tipo de recubrimiento, ya que se han invertido muchas horas en aplicar pacientemente ese plástico termo-adhesivo, y como desventaja más significativa, se ha encontrado que se despega con facilidad. Un buen sustituto puede ser la pintura, pese a que pueda aumentar el peso de la aeronave, cosa que no ocurrirá, pues en [41] se han propuesto diversas mejoras de diseño estructural que conllevan importantes ahorros de peso. Se hace notar que actualmente se ha empezado a experimentar con métodos de recubrimiento alternativos (lijado de superficies + imprimación + pintura), que están suponiendo mejoras tanto en tiempo como en acabado.

También sería adecuado sistematizar un método fiable para perforar los agujeros de agarre de las hélices al eje de transmisión del motor. Esto es altamente recomendable pues se han padecido muchos problemas derivados de una mala ejecución de esta actividad. Entre otras cosas ello supone una pérdida de tiempo importante, pues el error en la ejecución puede inutilizar la hélice, que es un elemento caro y difícil de conseguir, o desembocar en un tedioso procedimiento de lijado para poder equilibrar la hélice.

3. Gestión de actividades de fabricación

A nivel de planificación de las tareas asociadas a la fabricación, el epígrafe *11. Gestión del proyecto Céfiro*, recoge la información necesaria que puede servir como pauta para futuras mejoras en la organización de procesos.

12.2 Propuestas de mejora en los procesos de Integración

Las modificaciones a considerar serán dos:

1. Unión de grupos estructurales

Las mejoras detectadas en cuanto a integración estructural conciernen a:

- Integración de Fuselaje de Morro con Fuselaje Central: debe replantearse en términos de las uniones atornilladas que ligan ambas cuadernas de contacto. Ésta es una zona de difícil acceso para lograr (des)montar esas uniones, de ahí que a la hora de transportar la aeronave se decidiese no separar dichos módulos.

- Integración de Ala Central con el Fuselaje Principal: en el Céfiro 01 está realizada a base de placas de acero galvanizado y uniones atornilladas, pero debería ser sustituida por otro método de unión para rebajar peso. Una alternativa, que actualmente es la que se ha impuesto en el Céfiro 02, ha sido construir Fuselaje Principal y Ala Central como un solo grupo.

- Integración de los Extremos de Ala con el Ala Central: para esta conexión se propone sustituir los tornillos de enlace, que son de cabeza plana, por otros de cabeza hexagonal. Esto aligeraría levemente el tiempo de montaje.

- Integración de los Tubos de Cola con el Estabilizador Horizontal: deben ser realizadas de otra forma, ya que el peso en esa zona es demasiado elevado, no sólo por el empleo de cogidas de acero, sino por el uso abusivo de madera para carenar las proximidades de esa zona. En [41] se lanza la propuesta de una caja de contrachapado en la que se introducen los Tubos de Cola, y a la que se adhieren Estabilizadores Horizontal y Verticales. Las imágenes 12.1 y 12.2 reflejan una alternativa basada en ese método, que puede constituir una base a mejorar:

El tubo de cola iría sujeto mediante dos abrazaderas de plástico rígido o Aluminio a una pared de contrachapado, que linda con la costilla más externa del Estabilizador Horizontal. La unión de la abrazadera con dicha pared se haría mediante dos o cuatro tornillos. En la zona superior se coloca una pared, también en contrachapado, que contacta con la costilla del Estabilizador Vertical más próxima. El conjunto se cierra mediante una pared de balsa, a la que se da la forma curvada que se muestra en las ilustraciones siguientes. Para acoplar el conjunto con los estabilizadores se opta por dos largueros macho que encajarían con los largueros hembra de los estabilizadores (sería necesario rediseñar estos últimos ya que actualmente son largueros macho). Para acabar la cogida, habría que fijar, mediante tornillos, el enlace de los largueros macho - hembra. Para acceder a dichos tornillos y los que ligan las abrazaderas se usarían las compuertas de servo localizadas en las inmediaciones.

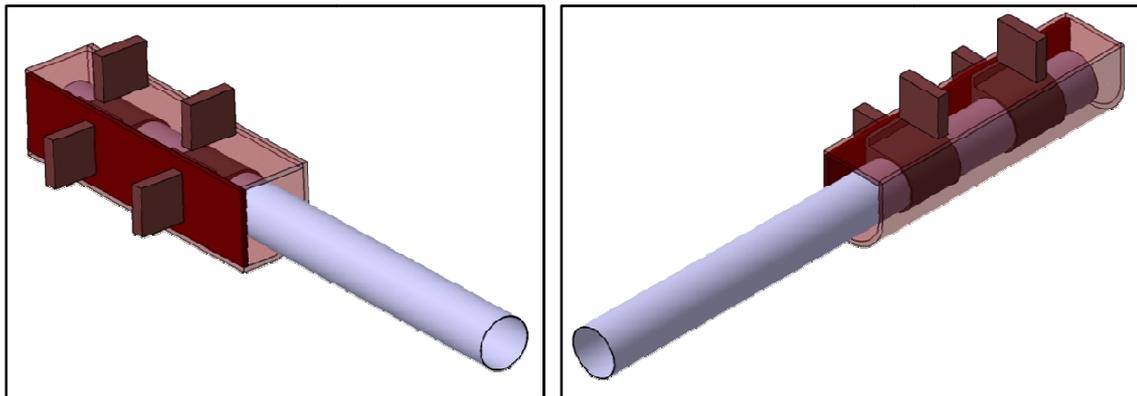


Imagen 12.1: 1ª Alternativa de sujeción de los tubos de cola (vista isométrica izquierda y derecha). Fuente: CATIA V5

- Integración del bloque motor en el Fuselaje Central:

La sujeción del motor a la cuaderna cortafuegos también es algo que debe estudiarse con detenimiento. Como se ha analizado en este documento, la prueba funcional de **Rodaje de motor en banco** revela la necesidad de emplear elementos absorbedores de vibración: *silent blocks* y amortiguadores. Tras varios días de pruebas e investigación, y habiendo constatado durante la visita a las instalaciones del INTA en el Arenosillo (Huelva) cómo se efectuaba esta unión estructural en otros UAV de tamaño medio, como el Alba, se considera que lo correcto es introducir las siguientes modificaciones:

- Emplear de 6 a 8 *silent blocks*.
- Cambiar la morfología de la placa de sujeción ([imágenes 12.3 y 12.4](#)). Actualmente esto se ha insertado en el Céfire 01 para el segundo vuelo, aunque es conveniente rebajar el espesor de la placa, que es de 6,5mm. Un espesor de 3mm es más que suficiente, y además ahorra algo de peso.
- Los amortiguadores pueden quitarse si se introducen los dos cambios anteriores. Esto también se ha efectuado en el Céfire 01 para el segundo vuelo, y el resultado es satisfactorio, porque las vibraciones a bajos regímenes de motor son poco significativas, y porque [se recortan los tiempos de montaje](#).

- Métodos de acceso, compuertas:

Las compuertas de acceso a los servos deben ser más grandes, de manera que las operaciones de (des)montaje del servo reparación sean más sencillas. Además deben de tener una configuración más simple, como propuesta en la imagen 12.2, aunque esta es una visión desde el enfoque de diseño.

Igualmente, es conveniente crear un modo de acceso eficaz para el (des)montaje de las uniones atornilladas que ligan el motor con la cuaderna cortafuegos. Dicho modo de acceso, debe permitir no sólo una fácil visión de la unión, sino además un proceso de ejecución cómodo.

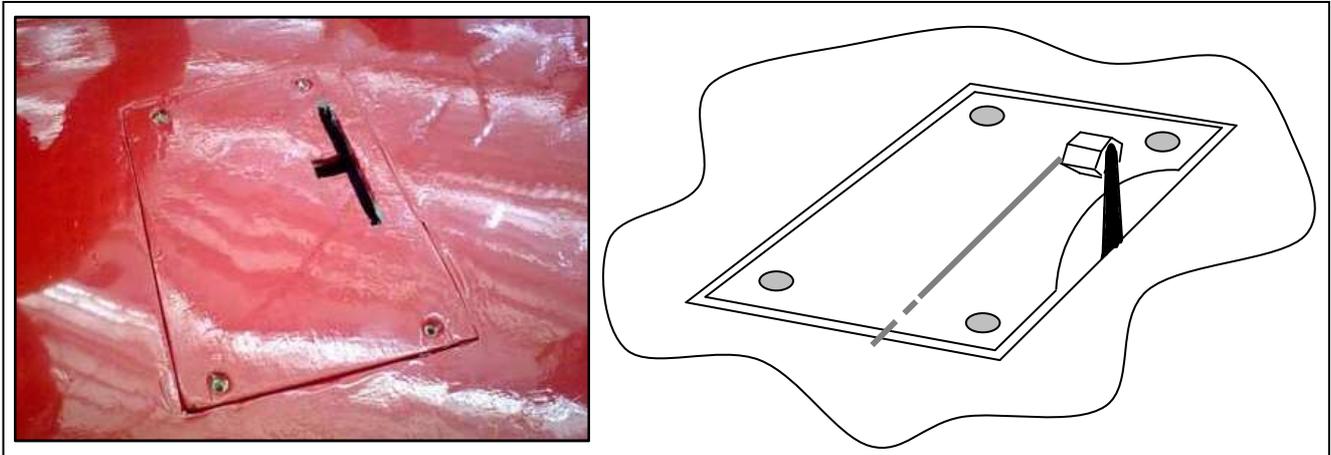


Imagen 12.2: Compuerta del Céfiro 01 y propuesta para Céfiro 02. Fuente: Elaboración propia

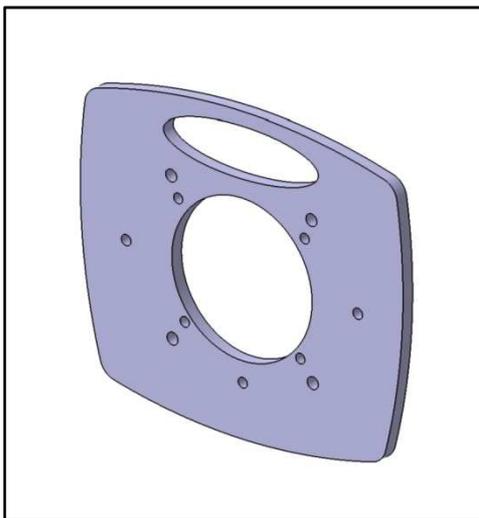


Imagen 12.3: Nueva placa de cogida para motor. Fuente: CATIA V5.

Imagen 12.4: Nueva placa de cogida de motor mecanizada mediante CNC. Fuente: Elaboración propia

2. Integración de sistemas

Dado que los sistemas que lleva este UAV son muy básicos, al tratarse de un primer prototipo, se entiende que las modificaciones en este campo para el Céfiro 02 serán significativas. Las propuestas que aquí se lanzan son las siguientes:

- Integración del sistema de comunicaciones en el Fuselaje Central: este punto subraya la idea manifestada en [41], en relación a la inclusión de dos bandejas en lugar de una, en el Fuselaje Principal, para tener la opción de montar más equipos si fuera necesario.

Por otra parte, se cree necesario tener redundancia de receptores, ya que el control de la aeronave pasa por este aparato, es decir, es un elemento primario en el control de la aeronave. Además, al tener dos receptores, se tienen dos antenas, que correctamente desplegadas (a 90° una respecto de la otra) aumentan el rango de captación de la señal

radiada por la emisora. Este aspecto ya se ha implementado en el segundo vuelo del Céfiro 01, donde además se han empleado otros componentes para el sistema de comunicaciones.

Finalmente, se propone modificar las paredes laterales del Fuselaje Principal para poder tener un acceso cómodo a las (des)instalación de los interruptores que alimentan los sistemas del UAV.

- **Integración del sistema de combustible en el Fuselaje Central:** referente a este sistema, ya se ha implementado una modificación que debe ser introducida en el Céfiro 02. Se ha incluido un pequeño depósito que conecta con el principal antes de enlazar la vía de combustible con el carburador. Dicho tanque secundario mejora la alimentación a motor, ya que entre otras cosas reduce la aparición de burbujas de aire en la succión.

12.3 Propuestas de mejora para las Pruebas Funcionales

Como se ha apuntado con anterioridad en el epígrafe 9. *Pruebas funcionales realizadas*, las pruebas ejecutadas para el Céfiro 01 son sencillas y poco numerosas. Evidentemente esto es fruto de que la escasa complejidad de los sistemas no exige más pruebas a parte de las realizadas. Aún así, se proponen algunas mejoras relativas a:

- Prueba Funcional de rodaje de motor en banco: debe ser revisada para poder hacer mediciones del empuje que proporciona el motor. Para esto, se usa un método consistente en colocar bajo la bancada de motor dos pistas con rodamientos, y mediante un dinamómetro, ubicado como se detalla en la [imagen 12.5](#), realizar las mediciones a medida que se avanza más o menos palanca de gases.

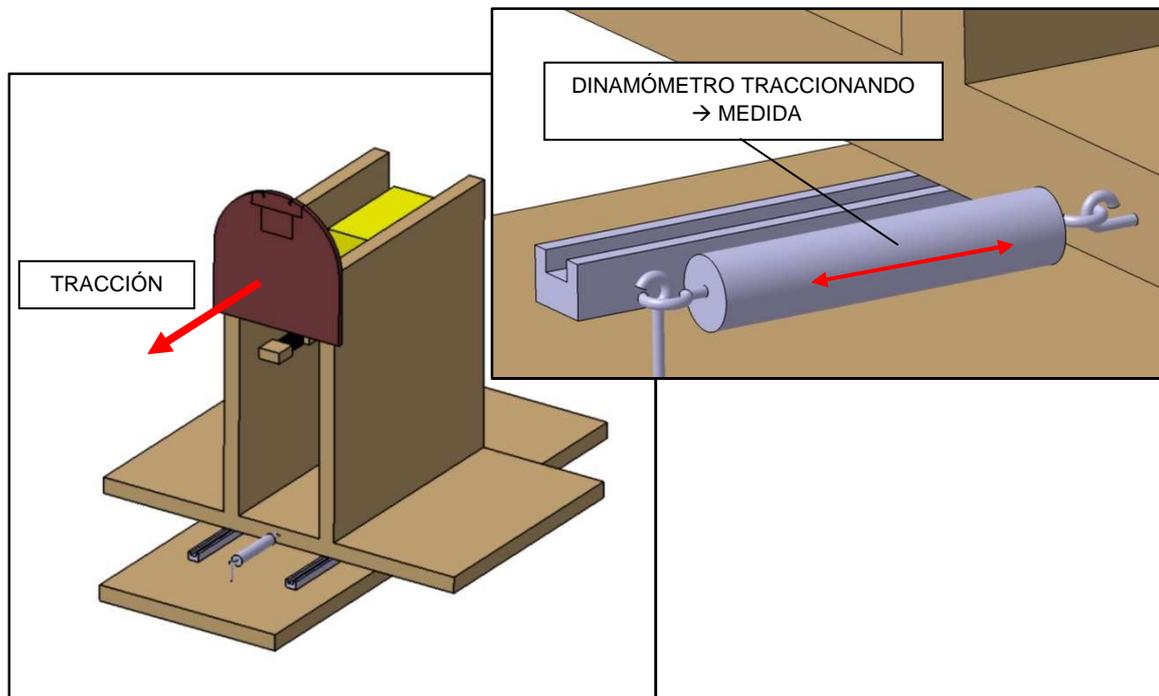


Imagen 12.5: Bancada para rodaje de motor con raíles / Imagen 12.7: Dinamómetro para medida del empuje.
Fuente: CATIA V5 (basado en el trabajo realizado por Antonio Franco Espín).

- Prueba Funcional Funcionamiento de los sistemas con el motor en marcha: para anclar la aeronave se recomienda la fabricación de calzos para las ruedas. Así se evitará el riesgo de

tener que situar dos personas delante de las alas, contactando con sus bordes de ataque, para evitar el movimiento de la aeronave.

Para poner punto y final a este proyecto, y en línea con este capítulo de conclusiones, se desea remarcar que el Proyecto Céfire es un éxito constatado en el campo educacional y de la investigación, ya que, el vuelo realizado en Julio de 2009 confirma la capacidad para diseñar y construir un UAV "a medida".

13. Anexos

En esta sección se ofrecen los apéndices a los que se hace alusión en este informe:

- ANEXO 1: Request for Proposal (RFP)
- ANEXO 2: Lista de corte de componentes
- ANEXO 3: Materiales empleados
- ANEXO 4: Guía de información de los iconos empleados en el Catálogo Unceta
- ANEXO 5: Instrucciones de operación del motor THOR 45
- ANEXO 6: Manual del excitador de servos
- ANEXO 7: Uniones

El manual de la emisora Futaba T9CP Super PCM1024 no se ha incluido por la extensión del mismo, pero puede encontrarse en <<http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>>.

13. 1 Request for Proposal

Reconnaissance Unmanned Aerial Vehicle (RUAV)

1. Descripción de oportunidad de mercado

Dado el creciente interés suscitado en todo el mundo por los sistemas de vuelo no tripulados o Unmanned Aerial Vehicles (UAV) en todas las áreas que hasta ahora era feudo de los aviones tripulados, se hace indispensable el que la universidad se vea involucrada en proyectos propios de diseño de dichas aeronaves. Estos sistemas se están introduciendo en todas las áreas de la Aeronáutica, desde la agricultura, pasando por el reconocimiento, vigilancia y seguridad o en el ámbito militar.

Por esa razón se lanza la propuesta de diseño o Request For Proposal (RFP) para el diseño de un UAV con fines inicialmente de observación y monitorizado de un área definida con el fin de poder así abrir la puerta para el futuro diseño de otros tipos de UAV's.

Dichos diseños tienen que ser atractivos para las empresas que quieran invertir en el creciente negocio de los UAV, tener un reducido coste maximizando el uso de materiales convencionales en sistemas de radio control, pero sobre todo tiene que ser capaz de proveer y cumplir las especificaciones definidas en el RFP.

2. Detalles de Diseño (Especificaciones)

El UAV debe de cumplir los siguientes requisitos:

1. Peso máximo de despegue (MTOW) no más de 70 kg.
2. Autonomía de vuelo inicial 30 minutos.
3. Velocidad de crucero mínima ~ 90 km/h.
4. Velocidad máxima ~ 140 km/h.
5. Distancia de despegue y aterrizaje inferior a 230 m en pistas de despegue preparadas para aviones de radio control.
6. Altitud de crucero operación 500 m sobre el nivel del suelo.
7. Segmentos de vuelo:
 - a. Calentamiento y taxi en relentí durante 5 minutos.
 - b. Despegue
 - c. Subida estándar a altura de crucero en tres etapas para asegurarse del estado de todos los sistemas en el vuelo inicial, y para el de diferentes niveles de vuelo en los vuelos de diseño:
 - i. 25% de la altura de crucero.
 - ii. 50 % de la altura de crucero.
 - iii. 75 % de la altura de crucero.
 - iv. Altura de crucero.
 - d. Entre cada una de las etapas de subida se requiere hacer un vuelo en espera en condición e máxima autonomía de 5 minutos de duración alrededor de la zona de operaciones.
 - e. Una vez en altura de crucero, vuelo de 10 minutos en máximo alcance.
 - f. Alinear con pista de aterrizaje y descenso gradual.
 - g. Aterrizaje, taxi a la zona de operación y apagado.
8. Ser capaz de alojar carga de pago de aproximadamente 10 kg de material electrónico, el cual tiene que estar protegido en todo momento a las vibraciones, al combustible, y a la erosión.

a. El material electrónico se darán especificaciones de ubicación para adecuarse donde se tiene que colocar.

9. Al ser un UAV de reconocimiento tendrá que diseñarse la ubicación y seleccionar un dispositivo de transmisión de imágenes.

10. Planta motora convencional motores de 2 o 4 tiempos según preferencias pero utilizando plantas motoras disponibles "off the shelf"

11. Tren de aterrizaje fijo.

12. Fácil construcción y reparación en caso de accidente: elementos constitutivos de la estructura en módulos.

13. El diseño tiene que prever para posibles derivaciones del diseño en las que se aumente tanto la carga de pago como la autonomía del UAV.

14. Uso de materiales y tecnología disponible "off the shelf" para servomecanismos, cableado, etc.

15. Ala fija.

Los estudiantes deberán diseñar una aeronave que cumpla los requisitos 1-15 (con posibilidad a modificar dichos requisitos o añadir otros si se creyera conveniente, siempre dentro de un plazo de tiempo razonable). La propuesta técnica entregada por el grupo de diseño tiene que demostrar de forma convincente que el diseño seleccionado puede suministrar una solución coste efectiva en relación con la aeronaves similares que existen en la actualidad. La propuesta deberá satisfacer las siguientes tareas para poder mostrar la evolución del diseño de un nuevo avión RUAV, estando las tareas englobadas en cinco grandes áreas:

3. Requisitos Entregables

1. Diseño:

a. Justificar el dimensionado preliminar, el diseño final, y descripción de las tecnologías y el cercamiento empleado para cumplir los requisitos de misión.

b. Mostrar evolución en el proceso de optimización.

c. Dibujos CAD enseñando dimensionados (proyección ortográfica).

d. Uso de avances tecnológicos para poder mejorar las actuaciones.

i. Vuelo a bajas velocidades.

e. Diseñar para bajo coste es importante:

i. Mostrar decisiones del diseño que atacan específicamente la reducción del coste de producción y de operación al mínimo.

ii. Mostrar por que este diseño es mejor que otros.

2. Aerodinámica:

a. Selección de la sección del perfil y del diseño en planta del ala.

b. Mostrar estimativos de la resistencia y de su polar más precisos para:

i. configuración de crucero.

ii. configuración de despegue.

iii. configuración de aterrizaje.

c. Métodos utilizados para mejorar la eficiencia aerodinámica.

3. Estudio de la Estabilidad Longitudinal y Lateral:

a. Análisis de trimado:

i. Mostrar cómo afecta la variación de peso y velocidad al trimado, y al centro de gravedad.

b. Estabilidad Estática.

- i. Justificar dimensionado y ubicación derivas horizontales y verticales.
- ii. Mostrar la efectividad de las superficies de control (dimensionado y ubicación).
- iii. Mostrar requisitos de normativas vigentes para la clase de avión y mostrar cómo son cumplidos (FAR – Part 23).

c. Estabilidad Dinámica.

i. Cualidades de vuelo:

- 1. Modelado longitudinal y lateral (derivadas de estabilidad).
- 2. Demostrar amortiguación y frecuencias naturales (o constantes de tiempo) para modos longitudinal y lateral direccional para todas las condiciones de uelo (FAR - Part 23)

4. Estructuras:

a. Mostrar un desglose de los pesos de los componentes y sistemas más importantes.

- i. Pesos en vacío.
- ii. Pesos de despegue.
- iii. Pesos de combustible.
- iv. Carga de pago.

b. Identificar y definir las cargas que afectan las diferentes partes estructurales en los diferentes segmentos de vuelo.

- i. Aerodinámicas.
- ii. Estructurales:

- 1. Carga de pago.
- 2. Cabina presurizada.
- 3. Tren de aterrizaje:

a. Ubicación del tren de aterrizaje incluyendo consideraciones para vuelco y golpeo de la cola, considerando las elevadas cargas.

c. Justificar la lógica empleada para el uso de los materiales en las diferentes partes.

d. Incluir los perfiles internos para mostrar la distribución interna.

e. Prever sistemas para la repetibilidad y la facilidad de construcción del UAV.

5. Propulsión y actuaciones:

a. Selección de la planta propulsora necesaria para cubrir necesidades en los segmentos de vuelo.

b. Mostrar cálculos de potencia requerida y necesaria.

c. Actuaciones según segmentos:

i. Despegue y aterrizaje:

1. Distancias de despegue y aterrizaje.
2. Estudio carga alar (W/S) y T/W.
3. Estudio de velocidades.

ii. Subida

1. Ángulos y velocidades óptimas de subida.
2. Estudio carga alar (W/S) y T/W.

iii. Crucero.

1. Estudio velocidades y alturas óptimas de crucero.
2. Estudio carga alar (W/S) y T/W.
3. Estudio alcance máximo.

iv. Vuelo Espera.

1. Estudio velocidades y alturas óptimas en espera.
2. Estudio carga alar (W/S) y T/W.
3. Estudio autonomía.

d. Diagrama de la envolvente (V-n diagram).

e. Diagrama de carga de pago-alcance

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

11.2 ANEXO 2: Lista de corte de componentes

PART NUMBER	CORTE CNC?	MATERIAL	ESPESOR (pulgadas)	NOMBRE	CORTADA
MORRO					
M1	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
M2	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
M3	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
M4	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
M5	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
M6	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
M7	S	PLYWOOD	3/8	CUADERNA DEL ENCASTRE	
M8	S	PLYWOOD	1/8	SUELO	
M9.1	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.2	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.3	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.4	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.5	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.6	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.7	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.8	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.9	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.10	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.11	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M9.12	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
M10	S	PLYWOOD	3/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNA ENCASTRE	
M11.1	S	BALSA	1/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNAS	
M11.2	S	BALSA	1/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNAS	
M11.3	S	BALSA	1/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNAS	
M11.4	S	BALSA	1/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNAS	
M12.1	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO	
M12.2	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO	
M12.3	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO	
M12.4	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO	
M13.1	N	SPRUCE	1/4	REFUERZO SUP/INF LARGUERO	
M13.2	N	SPRUCE	1/4	REFUERZO SUP/INF LARGUERO	
M13.3	N	SPRUCE	1/4	REFUERZO SUP/INF LARGUERO	
M13.4	N	SPRUCE	1/4	REFUERZO SUP/INF LARGUERO	
M14	S	PLYWOOD	1/2	PLACA DE COGIDA DEL TREN	
M15	N	NYLON	40mmx60mm	BLOQUE DE COGIDA DEL TREN	
M16	S	PLYWOOD	1/8	PLACA DE APOYO PARA SERVO	
PART NUMBER	CORTE CNC?	MATERIAL	ESPESOR (pulgadas)	NOMBRE	CORTADA
FUSELAJE					
F1	S	PLYWOOD	3/8	CUADERNA ENCASTRE	
F2	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
F3	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
F4	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
F5	S	PLYWOOD	3/8	CUADERNA LARGUERO DELANTERO ALA	
F6	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
F7	S	PLYWOOD	3/8	CUADERNA LARGUERO TRASERO ALA	
F8	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
F9	S	BALSA	1/8	CUADERNA	
F10	S	PLYWOOD	3/8	PARTE SUPERIOR FIREWALL	
F11	S	PLYWOOD	1/8	SUELO	
F12.1	S	PINO	1/2	LARGUERO	
F12.2	S	PINO	1/2	LARGUERO	
F13.1	S	PLYWOOD	3/8	REFUERZO CUADERNAS LARGUEROS ALAS	
F13.2	S	PLYWOOD	3/8	REFUERZO CUADERNAS LARGUEROS ALAS	
F14.1	N	ACERO	1mm	PLACA DE UNIÓN LARGUEROS ALAS	
F14.2	N	ACERO	1mm	PLACA DE UNIÓN LARGUEROS ALAS	
F14.3	N	ACERO	1mm	PLACA DE UNIÓN LARGUEROS ALAS	
F14.4	N	ACERO	1mm	PLACA DE UNIÓN LARGUEROS ALAS	
F14.5	N	ACERO	1mm	PLACA DE UNIÓN LARGUEROS ALAS	
F14.6	N	ACERO	1mm	PLACA DE UNIÓN LARGUEROS ALAS	
F14.7	N	ACERO	1mm	PLACA DE UNIÓN LARGUEROS ALAS	
F14.8	N	ACERO	1mm	PLACA DE UNIÓN LARGUEROS ALAS	
F15.1	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO	
F15.2	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO	
F15.3	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO	

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

F15.4	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO	
F16.1	N	SRUCE	1/4	REFUERZO SUP/INF LARGUEROS	
F16.2	N	SRUCE	1/4	REFUERZO SUP/INF LARGUEROS	
F16.3	N	SRUCE	1/4	REFUERZO SUP/INF LARGUEROS	
F16.4	N	SRUCE	1/4	REFUERZO SUP/INF LARGUEROS	
F17.1	S	BALSA	1/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNA	
F17.2	S	BALSA	1/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNA	
F17.3	S	BALSA	1/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNA	
F17.4	S	BALSA	1/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNA	
F17.5	S	BALSA	1/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNA	
F17.6	S	BALSA	1/8	CRUCE INTERMEDIO CUADERNA	
F18.1	S	PLYWOOD	1/2	CRUCE INTERMEDIO CUADERNA LARGUEROS ALA	
F18.2	S	PLYWOOD	1/2	CRUCE INTERMEDIO CUADERNA LARGUEROS ALA	
F19.1	S	PLYWOOD	1/4	REFUERZO COGIDA TREN	
F19.2	S	PLYWOOD	1/4	REFUERZO COGIDA TREN	
F20	S	PLYWOOD	1/2	PLACA DE COGIDA TREN	
F21	S	PLYWOOD	3/8	PARTE INFERIOR FIREWALL	
F22.1	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F22.2	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F23.1	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F23.2	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F24.1	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F24.2	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F25.1	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F25.2	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F26.1	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F26.2	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F27.1	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F27.2	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F28.1	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F28.2	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F29.1	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F29.2	N	BALSA	1/8	LARGUERILLO	
F30.1	S	BALSA	1/4	PARED LATERAL DELANTERA	
F30.2	S	BALSA	1/4	PARED LATERAL DELANTERA	
F31.1	S	BALSA	1/4	PARED LATERAL TRASERA	
F31.2	S	BALSA	1/4	PARED LATERAL TRASERA	
F32	S	PLYWOOD	3/8	RELLENO COSTILLA ENCASTRE	
PART NUMBER	CORTE CNC?	MATERIAL	ESPESOR (pulgadas)	NOMBRE	CORTADA
ESTABILIZADOR HORIZONTAL					
EH1	N	BALSA	-	BORDE DE ATAQUE	
EH2.1	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH2.2	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH3.0	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH3.1	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH3.2	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH3.3	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH3.4	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH3.5	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH3.6	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH4	S	BALSA	3/8	LARGUERO TRASERO	
EH5.1	N	SPRUCE	1/4	LARGUERILLO	
EH5.2	N	SPRUCE	1/4	LARGUERILLO	
EH6.1	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZOS UNIONES TAILBOOM	
EH6.2	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZOS UNIONES TAILBOOM	
EH6.3	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZOS UNIONES TAILBOOM	
EH6.4	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZOS UNIONES TAILBOOM	
EH6.5	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZOS UNIONES TAILBOOM	
EH6.6	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZOS UNIONES TAILBOOM	
EH6.7	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZOS UNIONES TAILBOOM	
EH6.8	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZOS UNIONES TAILBOOM	
EH7.1	N	ACERO	1mm	PLACAS DE UNIÓN TAILBOOM	
EH7.2	N	ACERO	1mm	PLACAS DE UNIÓN TAILBOOM	
EH7.3	N	ACERO	1mm	PLACAS DE UNIÓN TAILBOOM	
EH7.4	N	ACERO	1mm	PLACAS DE UNIÓN TAILBOOM	
EH7.5	N	ACERO	1mm	PLACAS DE UNIÓN TAILBOOM	
EH7.6	N	ACERO	1mm	PLACAS DE UNIÓN TAILBOOM	
EH7.7	N	ACERO	1mm	PLACAS DE UNIÓN TAILBOOM	

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

EH7.8	N	ACERO	1mm	PLACAS DE UNIÓN TAILBOOM	
EH8.1	N	ACERO	1.5mm	TUBO UNIÓN TAIL-BOOM	
EH8.2	N	ACERO	1.5mm	TUBO UNIÓN TAIL-BOOM	
EH9.1	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH9.2	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EH10.1	S	PLYWOOD	1/8	PLACA REFUERZO SERVO	
EH10.2	S	PLYWOOD	1/8	PLACA REFUERZO SERVO	
EH10.3	S	PLYWOOD	1/8	PLACA REFUERZO SERVO	
EH10.4	S	PLYWOOD	1/8	PLACA REFUERZO SERVO	
EH11.1	S	PLYWOOD	1/2	RELLENO ZONA UNIÓN TAIL BOOM	
EH11.2	S	PLYWOOD	1/2	RELLENO ZONA UNIÓN TAIL BOOM	
EH11.3	S	PLYWOOD	1/2	RELLENO ZONA UNIÓN TAIL BOOM	
EH11.4	S	PLYWOOD	1/2	RELLENO ZONA UNIÓN TAIL BOOM	
PART NUMBER	CORTE CNC?	MATERIAL	ESPESOR (pulgadas)	NOMBRE	CORTADA
TIMÓN DE PROFUNDIDAD					
E1	N	BALSA	-	BORDE DE ATAQUE	
E2.1	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.2	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.3	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.4	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.5	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.6	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.7	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.8	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.9	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.10	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.11	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
E2.12	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
PART NUMBER	CORTE CNC?	MATERIAL	ESPESOR (pulgadas)	NOMBRE	CORTADA
ESTABILIZADOR VERTICAL					
EV1	N	BALSA	-	BORDE DE ATAQUE	
EV2.1	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LARGUERO	
EV2.2	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LARGUERO	
EV2.3	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LARGUERO	
EV3	S	BALSA	1/4	LARGUERO DELANTERO	
EV4	S	BALSA	3/8	LARGUERO TRASERO	
EV5	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV6	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV7	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV8	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV9	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV10	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV11	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV12	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV13	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV14	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV15	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LARGUERO	
EV16	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EV17.1	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO SERVO	
EV17.2	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO SERVO	
PART NUMBER	CORTE CNC?	MATERIAL	ESPESOR (pulgadas)	NOMBRE	CORTADA
TIMÓN DE DIRECCIÓN					
R1	N	BALSA	-	BORDE DE ATAQUE	
R2	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
R3	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
R4	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
R5	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
R6	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
R7	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
R8	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
R9	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
PART NUMBER	CORTE CNC?	MATERIAL	ESPESOR (pulgadas)	NOMBRE	CORTADA
ALA CENTRAL					
AC1	N	BALSA	-	BORDE DE ATAQUE	
AC2.1	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
AC2.2	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

AC2.3	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
AC2.3	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
AC2.4	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
AC2.5	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
AC2.6	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
AC2.7	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
AC2.8	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
AC2.9	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
AC3.1	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
AC3.2	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
AC3.3	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
AC3.4	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
AC3.5	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
AC3.6	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
AC3.6	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
AC3.7	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
AC3.8	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
AC4.1	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
AC4.2	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
AC4.3	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
AC4.4	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
AC4.5	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
AC4.6	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
AC5.1	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
AC5.2	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
AC6.1	S	PLYWOOD	1/2	LARGUEROS DELANTEROS UNIÓN EXTREMOS ALA	
AC6.2	S	PLYWOOD	1/2	LARGUEROS DELANTEROS UNIÓN EXTREMOS ALA	
AC7.1	S	PLYWOOD	1/2	LARGUEROS TRASEROS UNIÓN EXTREMOS ALA	
AC7.2	S	PLYWOOD	1/2	LARGUEROS TRASEROS UNIÓN EXTREMOS ALA	
AC8.1	N	SPRUCE	1/4	REFUERZO INF/SUP LARGUERO	
AC8.2	N	SPRUCE	1/4	REFUERZO INF/SUP LARGUERO	
AC8.3	N	SPRUCE	1/4	REFUERZO INF/SUP LARGUERO	
AC8.4	N	SPRUCE	1/4	REFUERZO INF/SUP LARGUERO	
AC9.1	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO DELANTERO	
AC9.2	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO DELANTERO	
AC10.1	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO TRASERO	
AC10.2	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO LATERAL LARGUERO TRASERO	
AC11	S	PINO	1/2	NÚCLEO LARGUERO DELANTERO	
AC12	S	PINO	1/2	NÚCLEO LARGUERO TRASERO	
AC13.1	N	ACERO	1mm	SUJECIÓN A LARGUERO TUBO UNIÓN TAIL BOOM	
AC13.2	N	ACERO	1mm	SUJECIÓN A LARGUERO TUBO UNIÓN TAIL BOOM	
AC13.3	N	ACERO	1mm	SUJECIÓN A LARGUERO TUBO UNIÓN TAIL BOOM	
AC13.4	N	ACERO	1mm	SUJECIÓN A LARGUERO TUBO UNIÓN TAIL BOOM	
AC13.5	N	ACERO	1mm	SUJECIÓN A LARGUERO TUBO UNIÓN TAIL BOOM	
AC13.6	N	ACERO	1mm	SUJECIÓN A LARGUERO TUBO UNIÓN TAIL BOOM	
AC13.7	N	ACERO	1mm	SUJECIÓN A LARGUERO TUBO UNIÓN TAIL BOOM	
AC13.8	N	ACERO	1mm	SUJECIÓN A LARGUERO TUBO UNIÓN TAIL BOOM	
AC14.1	N	ACERO	2mm	TUBO UNIÓN TAIL-BOOM	
AC14.2	N	ACERO	2mm	TUBO UNIÓN TAIL-BOOM	
PART NUMBER	CORTE CNC?	MATERIAL	ESPESOR (pulgadas)	NOMBRE	CORTADA
EXTREMO ALA					
EA1	N	BALSA	-	BORDE DE ATAQUE	
EA2	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
EA3	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
EA4.1	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
EA4.2	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
EA5	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

EA6	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
EA7	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
EA8	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
EA9	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
EA10	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
EA11	S	BALSA	1/8	SECCIÓN DELANTERA COSTILLA	
EA12	S	BALSA	1/8	SECCIÓN INTERMEDIA COSTILLA	
EA13	S	BALSA	1/8	SECCIÓN TRASERA COSTILLA	
EA14	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EA15	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EA16	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EA17	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EA18	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EA19	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EA20	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EA21	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
EA22.1	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO SERVO DEL FLAP	
EA22.2	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO SERVO DEL FLAP	
EA23.1	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO SERVO ALERÓN	
EA23.2	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO SERVO ALERÓN	
EA24	S	BALSA	3/8	BORDE DE SALIDA ALA-FLAP	
EA25	S	BALSA	3/8	BORDE DE SALIDA ALA-ALERÓN	
EA26	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO TRASERO LARGUERO TRASERO	
EA27	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO DELANTERO LARGUERO TRASERO	
EA28	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO TRASERO LARGUERO DELANTERO	
EA29	S	PLYWOOD	1/8	REFUERZO DELANTERO LARGUERO DELANTERO	
EA30	S	SPRUCE	1/4	REFUERZO SUPERIOR LARGUERO TRASERO	
EA31	S	SPRUCE	1/4	REFUERZO INFERIOR LARGUERO TRASERO	
EA32	S	SPRUCE	1/4	REFUERZO SUPERIOR LARGUERO DELANTERO	
EA33	S	SPRUCE	1/4	REFUERZO INFERIOR LARGUERO DELANTERO	
EA34	S	BALSA	1/8	NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO TRASERO	
EA35	S	BALSA	1/8	NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO DELANTERO	
EA36	S	BALSA	1/8	NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO TRASERO	
EA37	S	BALSA	1/8	NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO DELANTERO	
EA38	S	BALSA	1/8	NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO TRASERO	
EA39	S	BALSA		NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO DELANTERO	
EA40	S	BALSA	1/8	NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO TRASERO	
EA41	S	BALSA	1/8	NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO DELANTERO	
EA42	S	BALSA	1/8	NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO TRASERO	
EA43	S	BALSA	1/8	NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO DELANTERO	
EA44	S	BALSA	1/8	NÚCLEO DE RELLENO LARGUERO DELANTERO	
PART NUMBER	CORTE CNC?	MATERIAL	ESPESOR (pulgadas)	NOMBRE	CORTADA
ALERÓN					
A1	N	BALSA	-	BORDE DE ATAQUE	
A2	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
A3	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
A4	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
A5	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
A6	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
A7	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
A8	S	BALSA	1/8	COSTILLA	
PART	CORTE	1/8	ESPESOR	NOMBRE	CORTADA

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

NUMBER	CNC?		(pulgadas)	
FLAP				
FP1	N	BALSA	-	TRAILING EDGE
FP2	S	BALSA	1/8	COSTILLA
FP3	S	BALSA	1/8	COSTILLA
FP4	S	BALSA	1/8	COSTILLA
FP5	S	BALSA	1/8	COSTILLA
FP6	S	BALSA	1/8	COSTILLA
FP7	S	BALSA	1/8	COSTILLA
FP8	S	BALSA	1/8	COSTILLA
FP9	S	BALSA	1/8	COSTILLA
FP10	N	BALSA	1/8	PLACA DE AJUSTE CON BORDE DE SALIDA
FP11	N	BALSA	1/8	PLACA DE AJUSTE CON BORDE DE SALIDA
FP12	N	BALSA	1/8	PLACA DE AJUSTE CON BORDE DE SALIDA
FP13	N	BALSA	1/8	PLACA DE AJUSTE CON BORDE DE SALIDA
FP14	N	BALSA	1/8	PLACA DE AJUSTE CON BORDE DE SALIDA
FP15	N	BALSA	1/8	PLACA DE AJUSTE CON BORDE DE SALIDA
FP16	N	BALSA	1/8	PLACA DE AJUSTE CON BORDE DE SALIDA

Tabla 13.1: Listas para corte de componentes mediante control numérico. Fuente: Elaboración propia

11.3 ANEXO 3: Materiales empleados¹²

Como es de suponer las diferentes partes de este UAV estarán sometidas a esfuerzos diversos durante los segmentos de vuelo y las fases de despegue y aterrizaje. En este sentido, es importante conocer los puntos del avión más críticos ante solicitaciones de carga, y aplicar en la construcción el tipo de madera más adecuada, o un refuerzo del mismo material u otro oportunamente colocado (respecto a la localización de estos lugares, las justificaciones pertinentes constan en [41]). De acuerdo con esta idea, la imagen 13.1 muestra la ubicación de los diferentes materiales empleados en el UAV Céfiro.

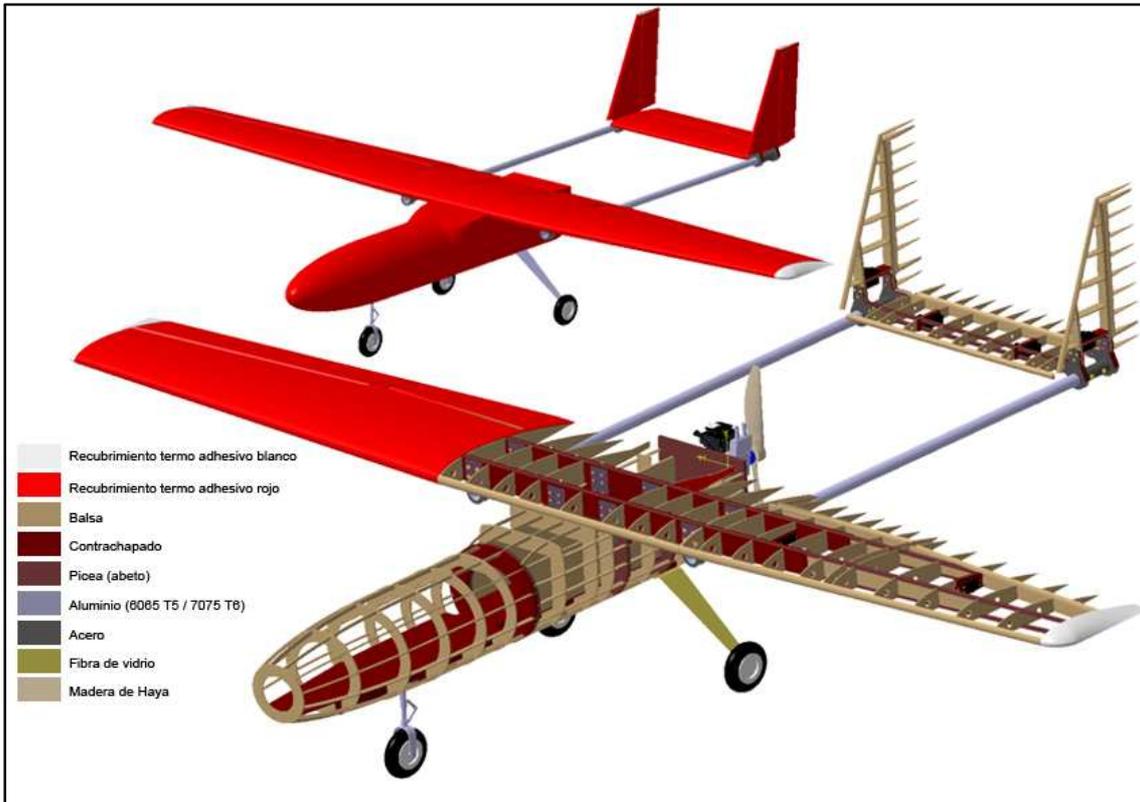


Imagen 13.1: Materiales empleados en el UAV Céfiro. Fuente: CATIA V5

A continuación se realiza una descripción somera de estos materiales, manifestando sus cualidades más relevantes.

- Maderas

Las maderas se han empleado a lo largo de la historia de la aviación en gran número de aviones de todo tipo, hasta que progresivamente fue sustituida por otros materiales (metales, materiales compuestos...). En la construcción de aeromodelos como este UAV la materia prima básica es la madera, probablemente por su facilidad de manejo y fundamentalmente por su bajo coste si se compara con otros grupos materiales como los compuestos.

¹² Este epígrafe está basado en

[4] <www.ripmax.com>

[12] Andrés Aylagas, et al. "Aeromodelismo y radiocontrol. Enciclopedia Práctica". Hobby Press, S.A. Madrid 1984

[37] <<http://www.selection-vosges.com/sp/foret.htm>>

[41] Daniel Pérez Alcaraz. "Diseño estructural y construcción de un avión no tripulado: El proyecto Céfiro", Sevilla, curso 2008/2009

- Madera de balsa ($\rho = [100,150] \text{ Kg/m}^3$)

La madera de balsa es una madera tropical de baja densidad (densidad media de 170 Kg/cm^3) y de aceptables propiedades mecánicas a compresión (es importante matizar que dentro de la madera de balsa existe una cierta variación en su densidad y por este motivo se suele clasificar en tres grupos: blanda, media y dura). Esta madera ofrece una excelente relación peso/resistencia y la ventaja de ser fácilmente trabajable ya que se puede cortar, lijar, curvar etc., sin ningún problema. Además es posible realizar uniones sólidas con distintos tipos de adhesivos. Otra importante ventaja es que esta madera está totalmente comercializada y se ofrece en infinidad de medidas, en forma de listones, tablas, chapas, etc.

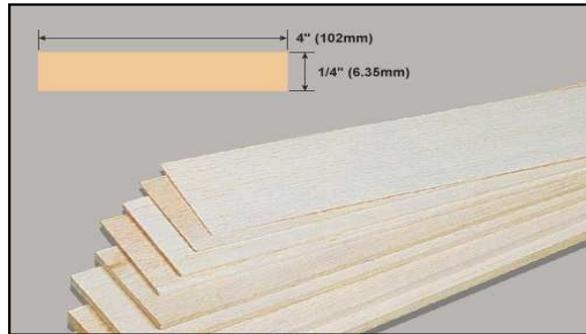
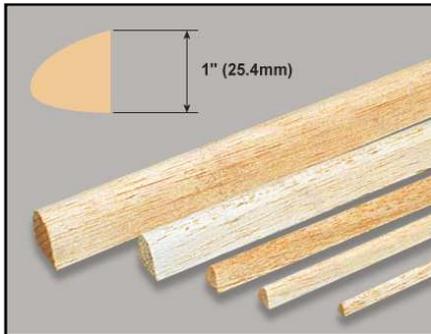


Imagen 13.2 (izquierda): Listones de balsa para borde de ataque / Imagen 13.3 (derecha): Planchas de madera de balsa. Fuente: [4]

- Contrachapado ($\rho = [400,800] \text{ Kg/m}^3$)

Respecto al contrachapado, es de señalar su importante papel en aeromodelos, pues está presente en aquellas partes del UAV sometidas a esfuerzos extra, vibraciones, desgaste... Básicamente consiste en un apilado de láminas de fino espesor, encoladas entre sí, cambiando alternativamente el sentido de la veta a 90° , para lo cual utiliza unos pegamentos o resinas especiales y unos tratamientos determinados para su prensado y secado. El espesor de las chapas y su número varía en función del grosor total que se desea conseguir y de su calidad (por lo general es mejor un contrachapado cuantas más capas tiene).

Hay varias partes en un modelo que deben necesariamente ser construidas con madera contrachapada, tal como cuadernas de sujeción del motor, refuerzos de unión de las alas, soporte del tren de aterrizajes, etc.

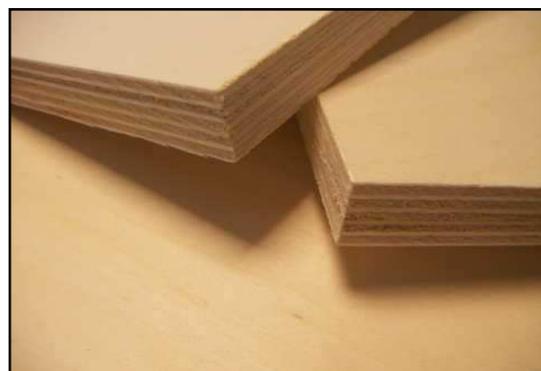
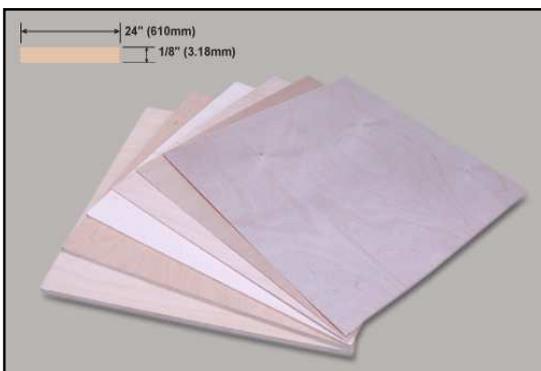


Imagen 13.4 (izquierda): Planchas de contrachapado / Imagen 13.5 (derecha): Superposición de capas en la madera de contrachapado. Fuente: [4]

- Pino y Picea ($\rho = [350,600] \text{ Kg/m}^3$)

En lo que se refiere al pino o a su variante, la picea (abeto del Canadá), se emplean en el aeromodelo fundamentalmente en forma de listones o largueros. Esto se debe a sus buenas propiedades de flexibilidad y bajo peso (el pino tiene asimismo una gran resistencia longitudinal, es decir en el sentido de la veta). Por estas razones es empleado como material preferente en la realización de largueros principales de alas, ya que éstas están sometidas en vuelo a grandes esfuerzos de flexión, que son absorbidos correctamente por estas maderas.

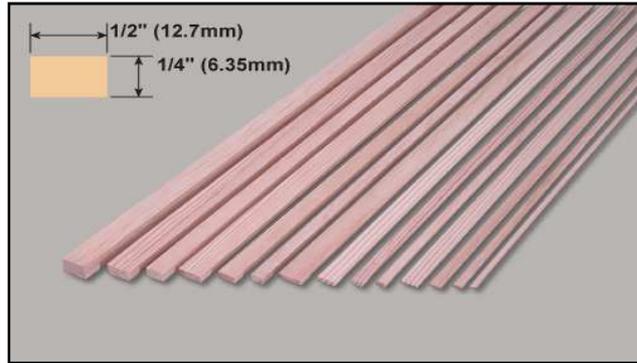


Imagen 13.6 (izquierda): Listones de pino / Imagen 13.7 (derecha): Listones de picea. Fuente: [4]

- Haya ($\rho = 750 \text{ Kg/m}^3$)

Esta madera presenta unas propiedades muy similares a las de pino y picea, aunque es ligeramente más pesada, dura y más cara. Su localización en la aeronave se limita a la hélice.

- **Metales**

El empleo de los metales en el UAV tiene dos limitaciones importantes, el peso y la relativa dificultad para trabajarlos. No obstante hay elementos que por el esfuerzo al que son sometidos o por la complejidad estructural que presentan deben ser construidos en un material de la suficiente dureza y elasticidad.

- Aluminio (Las dos aleaciones empleadas son: $\rho = 2700 \text{ Kg/m}^3$ para Al 6065 T5 / $\rho = 2800 \text{ Kg/m}^3$ para Al 7075 T6)

Es uno de los metales más empleados en la industria aeronáutica, debido principalmente a su poco peso y excelente resistencia, siendo un metal fácilmente mecanizable. Su empleo en el avión es variable: se pueden realizar piezas diversas, como bancas de motores, trenes de aterrizaje, tail booms, etc. También es muy empleado como material para las varillas de mando y transmisiones. El principal inconveniente que posee es la dificultad general de las aleaciones de aluminio para ser soldadas (para más información consultar epígrafe 6.3.3 *Uniones soldadas*).

- Acero ($\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$)

El acero es un material con unas prestaciones mecánicas muy elevadas pero muy pesado (es casi tres veces más denso que el aluminio) por lo que sus aplicaciones son más limitadas y su localización más reducida se remite a la tornillería y transmisiones primordialmente. Adicionalmente en el UAV Céfire se emplea en las cogidas de los tail booms.

- **Materiales Compuestos**

El material compuesto es una combinación a escala macroscópica de dos o más materiales con interfases de separación entre ellos para formar un nuevo material. Este material tiene por objetivo obtener propiedades que los constituyentes nunca podrían alcanzar aisladamente. Además, logran mejorar entre otras propiedades: resistencia mecánica, peso, rigidez, etc.

Existe una amplia variedad de materiales compuestos lo cual hace que sea difícil establecer una clasificación de aceptación general. De cualquier forma, una primera división de este grupo de materiales puede establecerse en función del tipo de refuerzo: con fibras o con partículas.

- Material reforzado con fibra de vidrio:

En este UAV se ha empleado un único compuesto, perteneciente a la primera clase de las dos anteriores, que se localiza exclusivamente en el tren de aterrizaje, aunque su uso en aeromodelos es bastante general: refuerzos, carenas, bordes marginales...

11.4 ANEXO 4: Guía de información de los iconos empleados en el Catálogo Unceta¹³

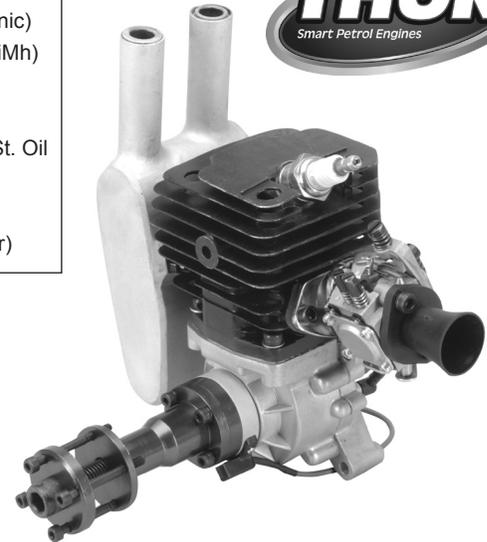
Material de construcción de la herramienta HSS Acero rápido HSS CO Acero rápido de alto rendimiento con aleación de cobalto o Vanadio PM HSS-E Acero HSS pulvimetalúrgico MD Metal duro de grano fino en la gema K10-K40 y P40		Tipo de hélice TIPO N Tipo N = Normal TIPO W Tipo W = Para materiales blandos TIPO NF Fresas de Semicabado		Mango de sujeción Tipos de mango para brocas de metas duro integral									
Ángulo de la punta 130° Ángulo de punta	Profundidad de corte Longitud de penetración 5 x Diámetro	Normativa Norma de taller	Ángulo de la hélice Hélice a la derecha con 30° de ángulo										
Ángulo de avellanado Forma A Forma R Forma B			Tolerancia H7 Campo de tolerancia H7 ISO 2 6H Rosca métrica ISO Clase de aplicación 2 6H = tolerancia media ISO 2X 6HX X: Tolerancia de la herramienta modificada por materiales especiales										
Tipo de rosca M Rosca métrica Con 60° de ángulo de flanco		Entrada de 3 hilos Forma C con entrada corregida Entrada de 4 hilos Forma B con entrada corregida 		Aplicación / Utilización Con refrigeración interna Avance en tres direcciones Para roscas de agujeros ciegos hasta profundidad 3 x d									
 El equipo es entregado con un certificado trazable de Mitutoyo		 Contruido con componentes templados para una mayor durabilidad		 La llave dispone de una toma hembra según DIN para la incorporación de bocas									
 El equipo garantiza una precisión de ±3% sobre el fondo de escala		 Entregado a portes debidos a su lugar de destino											
Guía de colores													
 Adecuado para Aluminio y aleaciones de aluminio		 Adecuado para Aceros inoxidables		 Adecuado para Cu y Zn de viruta corta y larga									
 Adecuado para Aceros		 Adecuado para Titanio, aleaciones de titanio y aleaciones de níquel		 Adecuado para materiales sintéticos, plásticos duro-plásticos									
 Adecuado para Aceros templados >45HRC		 Adecuado para Fundición. GGG, GG		 Adecuado para aplicaciones Universales									
 Adecuado para Madera		 Adecuado para Piedra		 Adecuado para Lacado									
Guía de anillos de colores													
Colores de identificación para un mecanizado sin problemas													
Gráfico para determinar la herramienta adecuada de forma rápida:													
MATERIAL	Alum	<1400 N	>45 HRC	<60 HRC	>850 N	Ti	GG(G)	CuZn	Grafito F. Carb. F. Vitr. Duro Pl.	Uni			
A1 1170	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Aluminio	Tipos generales de acero. Acero de construcción de grano fino		Acero templado	Aceros resistentes a corrosión y ácidos	Titanio, aleaciones de titanio y aleaciones de níquel	Fundición	Cobre, zinc, latón, bronce	Plásticos reforzados con fibra de vidrio y de carbono	Universal	Aceite de corte	Refrigerante	Mecanizado en seco
✓ = muy adecuado													

Imagen 13.8: Guía de información de los iconos empleados en el Catálogo Unceta. Fuente: Este anexo está basado en Unceta, Herramientas de calidad. Unceta, S.A. Guipúzcoa 2008. Tomo 134. Pág. 2

¹³ Este epígrafe está basado en Unceta, Herramientas de calidad. Unceta, S.A. Guipúzcoa 2008. Tomo 134

THOR 45 CDI ENGINE SPECIFICATIONS

Displacement.....	45cc (2.745in ³)	Ignition Type:.....	DC-CDI (Fully Electronic)
Bore:	43mm (1.693")	Ignition Power Source:	6V DC (5 Cell NiCd/NiMh)
Stroke:	31mm (1.221")	Spark Plug Gap:.....	0.7mm (0.028")
Practical RPM:.....	1,600 - 7,800	Static Ignition Timing:	12°-14° BTDC
Maximum Power Output:.....	4.2hp	Fuel Required:.....	89-91 Unleaded w/2-St. Oil
Weight w/Muffler:.....	1650g (58.2oz)	Fuel/Oil Ratio:.....	25:1 to 40:1
		Oil Type:.....	2 Stroke Synthetic (Castrol TTS or similar)



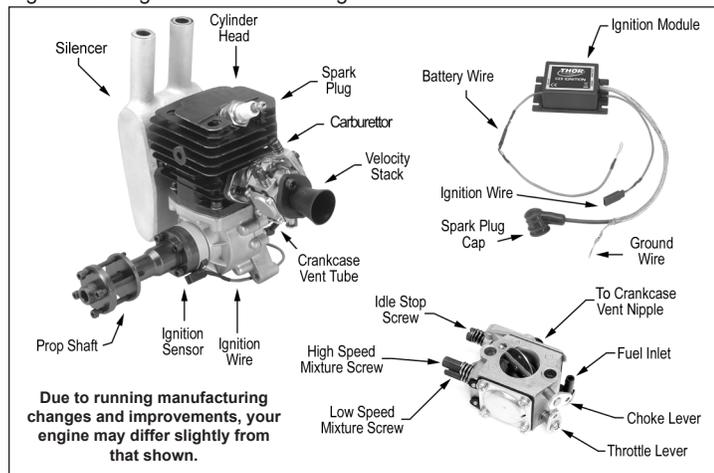
THOR 45 CDI PETROL ENGINE OPERATING INSTRUCTIONS

INTRODUCTION

Thank you for choosing our superb new THOR 45 CDI petrol engine. The THOR 45 CDI engine is a single cylinder, two-stroke petrol engine incorporating an easy-to-adjust Walbro carburettor with integrated pump, fully-electronic ignition system and a high-quality, dual-ring piston for exceptional power and ease of use. The THOR 45 CDI engine also features heavy-duty aluminum engine mounts, a high-volume silencer and a velocity stack. We are confident that this precision product will provide you with many hours of reliable, high-performance flying.

BECOMING FAMILIAR WITH YOUR ENGINE

We strongly recommend reading through these operating instructions in their entirety to familiarise yourself with the features and operation of your new engine. Whether this is your first petrol engine or if you've run them in the past, following these operating instructions closely will reward you with a great running and trouble-free engine.



WARNINGS AND PRECAUTIONS

- This engine is not a toy. It is a precision-built machine whose power is capable of causing serious injury to yourself and others if abused or misused, or if you fail to observe proper safety precautions while using it.
- Mount the engine securely in the aircraft or on a suitable engine test stand to run the engine. Follow the mounting instructions in your kit's instruction manual for individual mounting recommendations. Do not clamp the engine in a vice to test-run it.

WARNINGS AND PRECAUTIONS, CONTINUED

- This engine is intended for model aircraft use only. Do not use it in any other application.
- This is an air-cooled engine, so you must provide adequate cooling for the engine and the exhaust.
- Use a good-quality propeller and spinner. Always make sure to balance both the propeller and the spinner before mounting them onto the engine.
- When drilling the propeller to fit the propeller bolt, make sure that the hole is centered and take care not to weaken the propeller by drilling holes in the strengthening webs when you drill the four radial bolt holes.
- Make sure that the propeller bolts are tightened securely and check them for proper tightness regularly.
- The ignition module should be mounted to avoid vibration, heat and fuel oil.
- You must use a kill switch (not supplied) between the ignition battery and the ignition module.
- To avoid radio "noise" caused by metal-to-metal contact, connect the throttle cable to the throttle arm using a heavy-duty nylon clevis.
- To prevent unwanted RF interference, always keep any part of the radio control system (servos, receiver, flight battery, aerial, etc) 300mm (12") away from the ignition module. Perform a range check with the engine running. We find the use of PCM receivers to be more reliable and therefore recommended.
- Always use a Chicken Stick or wear a heavy-duty leather glove to start the engine.
- Ensure that the spark plug is in good condition, is set to the correct gap (see specifications above), and is tightened completely.
- Ensure that the spark plug cap is firmly seated on the spark plug.
- Do not wear loose clothing or allow anything to be drawn into the spinning propeller while the engine is running.
- If you need to carry your model while the engine is running, be conscious of the spinning propeller. Keep the airplane pointed away from you and others at all times.
- Do not attempt to make carburettor adjustments while the engine is running. Always shut down the engine first.
- Keep all spectators at a safe distance while the engine is running.
- Never stand directly in the arc of the spinning propeller.
- Make sure your aircraft is firmly secured when you start the engine. It's advised to have a helper hold the aircraft while you start and run up the engine.

ENGINE INSTALLATION

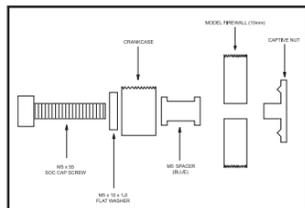
Engine Orientation

The THOR 45 CDI engine features a high-quality Walbro carburettor with an integrated fuel pump, so the engine can be orientated in any position on the firewall without the fuel-draw problems associated with non-pumped engines.

Engine Bolts & Firewall Requirements

The THOR 45 CDI engine features direct-to-firewall mounting. The firewall in your model should be aircraft grade 5-ply plywood no less than 9.5mm (3/8") thick and the firewall should be reinforced to meet the torque and weight of the engine. Use only high-quality 5mm steel cap screws and related hardware to mount the engine.

Should you decide to mount the engine using rubber shock mounts, we strongly suggest using high-quality mounts designed specifically for single cylinder petrol engines. Using the wrong type of rubber shock mounts can lead to an erratic running engine and possible engine damage.

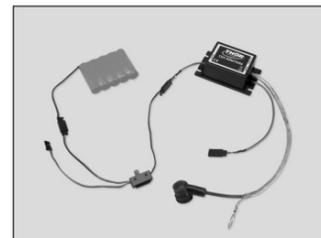


Ignition System Installation

The ignition module should be mounted near the engine, as far away from your airborne radio equipment as possible. It should be protected from excessive heat, vibration and fuel oil. We recommend wrapping it in foam rubber (like used for your receiver), then securing it into place using double-sided tape or silicone glue.

You will need to install a kill switch (sold separately) between the ignition module and your ignition battery. The kill switch should be mounted in a convenient location on the outside of the model far enough away from the engine so as not

to pose a risk when using the switch. For models over 7kg in the U.K. this switch should be operated by the radio so that the engine can be switched off by the 'failsafe' system.



To power the ignition system you will need to use a separate battery pack that is 6.0V (5 cells) and a capacity of 1100mAh to 3000mAh. NiCd or NiMH

cells can be used. The battery should be wired to the kill switch (making sure that the polarity is correct) and mounted inside your model, at least 300mm (12") away from the ignition module. For convenience, a charge jack can be wired along with the kill switch so that you can charge the battery without having to remove it from the model. A standard on/off switch (or connectors) with a charge jack works well.

To ground the ignition system, slide the 'ground' cable harness over the threaded end of the spark plug, then install the spark plug into the engine (make sure that it's tightened securely). Push the rubber cap over the end of the spark plug until it snaps firmly down into place.



Next, plug the ignition wire from the engine into the matching ignition wire from the ignition module.

◆**IMPORTANT**◆ The ignition sensor is pre-installed at the factory in the correct position. Do not attempt to adjust the sensor mount.

Throttle Pushrod Installation

To reduce the chance of radio "noise", we don't recommend using a metal pushrod wire. We suggest using a nylon tube-in-sleeve style pushrod. Make sure to attach the pushrod to the throttle lever using a heavy-duty nylon clevis. You want to avoid any metal-to-metal contact.

◆**IMPORTANT**◆ Do not remove the throttle lever spring. This spring helps keep the carburettor butterfly aligned properly. Merely release the ends of the spring so that it no longer holds the butterfly closed. This will ease the strain on your throttle servo.

Choke Rod Installation

If the carburettor is accessible, we suggest leaving the choke open, and using your finger to cover the carburettor opening to choke the engine. If this is not possible, you can attach a choke rod to the choke lever. As with the throttle pushrod, make sure to use a heavy-duty nylon clevis to secure the choke rod to the choke lever.

◆**IMPORTANT**◆ If the choke rod is more than 75mm (3") long, we suggest supporting the outer end of the choke rod to prevent vibration from damaging the choke mechanism.

Silencer Installation



The silencer is mounted to the engine using the two steel socket-cap screws, two spring washers, two square retaining nuts and the gasket provided. Also make sure to tighten the screws firmly. Notice that the nuts slide behind the muffler mounting flange on the engine.

◆**IMPORTANT**◆ The standard silencer can be mounted only in the direction shown. Optional replacement silencers are available.

Fuel System

◆**IMPORTANT**◆ Because this is a petrol engine, your fuel system (fuel tank and stopper assembly, fuel lines, filters, fuel valves, etc) must be designed for use with petrol. Do not use accessories designed for use with glow fuel. Do not use silicone-based materials.

The THOR 45 CDI engine uses a Walbro carburettor with an integrated fuel pump. For this reason, the location of the fuel tank is not critical. The pump will draw fuel into the carburettor regardless of the location of the fuel tank. For best aircraft performance we suggest installing the fuel tank over the models C/G so that no trim changes will be necessary as the fuel quantity lowers in the tank.

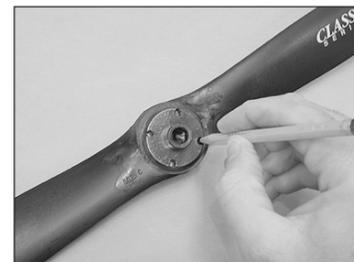
We recommend using a fuel tank no smaller than 570ml (20 oz). Make sure that the fuel tank is vented outside of the model during use. Exhaust pressurisation is not required and would actually be detrimental to the running.

Engine Cooling

Proper cooling is vital to ensure proper running and longevity from your engine. It is imperative that your model be constructed to provide adequate airflow over the engine and muffler. This means having appropriately sized air-intake and air-exit areas. For proper cooling the air-exit area should be 4 times the size of the air-intake area. For example, 65cm² (10 in²) of air-intake area will require 650cm² (40 in²) of air-exit area. This formula ensures that your engine will not overheat due to inadequate air flow.

Propeller Installation

◆**WARNING**◆ Before installing the propeller it must be properly balanced. Balance the propeller **AFTER** drilling both the centre hole and the four radial holes. Running your engine using an out-of-balance propeller can lead to excessive vibration, which will result in excessive stress and wear on both the engine and the airframe. Balance the propeller using the method recommended by the propeller manufacturer. Several products are available to properly balance propellers. Ask your local retailer for more information about these items.



The diameter of the propeller retaining bolt is 8mm (0.315"). Using a drill bit or a propeller reamer, enlarge the hole in the propeller hub to fit the retaining bolt. Slide the propeller retaining bolt and the propeller washer onto the propeller, then use the holes in the propeller washer to mark the locations of the four radial retaining bolts onto the propeller.



Remove the retaining nut and propeller washer, then drill four 4mm (5/32") diameter holes through the propeller. If you have one, we suggest using a drill press to drill these holes.

Install your propeller loose to make it easy to line up and thread the four radial retaining bolts into place. Finally, tighten the centre bolt, then tighten the four radial bolts in a criss-cross pattern.

◆**WARNING**◆ If you are installing a spinner onto your engine, the cone of the spinner must not rub against the propeller. Allowing the spinner cone to rub against the propeller could lead to propeller damage and eventual propeller failure. We also strongly suggest balancing your spinner before installing it.

PROPELLER, FUEL AND SPARK PLUG

Propeller Recommendation

We suggest using only high-quality propellers made from wood, carbon-fibre or glass-reinforced nylon. Don't forget to balance the propeller as described in the previous section.

PROPELLER SIZE RECOMMENDATIONS FOR THOR 45 CDI ENGINE

Use for _____ **20 x 8** | 20 x 10 | 22 x 8
Running-In

Spark Plug Recommendation

The spark plug included with your engine is designed specifically for your engine. Factory replacements are available and can be purchased directly from your THOR engine dealer. When purchasing a new spark plug we suggest double-checking the gap using a gap gauge tool found at auto-parts shops. The spark plug gap should be set to a gap of 0.7mm (.028") with the spark plug cold. The spark plug should be replaced when signs of electrode wear are present.

Fuel Recommendation

The fuel you use should be high-octane (89 or 91) premium unleaded petrol mixed with a high-quality synthetic two-stroke engine oil (Castrol TTS recommended) at a ratio of 25:1 for the first 2-3 hours of run-time and a ratio of 40:1 thereafter. We don't suggest using more oil than recommended since damage to the piston rings and piston could result. We also don't suggest adding performance-boosting additives to your fuel. Doing so will void your engine's warranty.

◆**IMPORTANT**◆ Always mix your fuel in a clean container and filter it before filling your fuel tank. We also strongly recommend using an in-line fuel filter between your fuel tank and the carburettor. 'Felt' type fuel tank clunks are also recommended.

CARBURETTOR ADJUSTMENT SCREWS

High and Low Speed Mixture Screws

The high speed mixture screw is used to meter the air/fuel mixture at full throttle. The low speed mixture screw regulates the air/fuel mixture at idle and during transition from idle to full throttle. Both mixture screws operate the same. Turn the mixture screw(s) clockwise to lean the mixture or turn the mixture screw(s) counterclockwise to richen the mixture. Both mixture screws are preset from the factory for initial starting. They will need final adjusting to suit your atmospheric conditions, fuel, temperature, altitude, etc.

If your high and low speed mixture screws get too far out of adjustment, reset them to the factory settings:

High Speed Mixture Screw: 1.5 turns out from fully closed.

Low Speed Mixture Screw: 1.5 turns out from fully closed.

Idle Stop Screw

Although we suggest using your transmitter's idle trim lever to set the idle speed of the engine, you can also set the idle speed of the engine using the idle adjustment screw on the carburettor. Turning the screw clockwise will increase the idle speed and turning the screw counterclockwise will decrease the idle speed. The screw is set at the factory and should not require adjustment.

STARTING PROCEDURE

The starting procedure for the THOR 45 CDI engine is actually quite simple. For ease of starting we recommend using a high-torque electric starter with a good quality 12V car battery. The engine can be started by hand, but only using a chicken stick. We strongly discourage it, but if you must use your hand to start the engine, you **MUST** wear a heavy-duty leather glove.

• Verify that the ignition kill switch is in the "off" position and fill the fuel tank with fresh, filtered fuel. **Before filling the fuel tank, gently shake your fuel container to remix the oil and petrol mixture.**

• Open the throttle completely, close the choke and rotate the propeller by hand counterclockwise through the compression stroke 4-6 times to prime the engine. Open the choke. The first start may require a lot more rotations to prime the carburettor for the first time.

• Set the throttle to idle, then pull the propeller slowly through the compression stroke once, leaving the propeller just below the top of the next compression stroke.

• Turn on the kill switch and start the engine using an electric starter or by hand. If starting by hand, the engine should start within about 5 or 6 flips.

• Once the engine starts, maintain a fast idle for no less than 1 minute to allow the engine to warm up.

◆**IMPORTANT**◆ Make sure you never start the engine with the carburettor set any higher than the idle setting. Trying to start the engine at a higher throttle setting can result in the engine backfiring or lurching forward. This can quickly lead to damage to the engine and/or personal injury.

RUNNING-IN PROCEDURE

♦**IMPORTANT**♦ During the running-in procedure, DO NOT run the engine at full power for more than 10 seconds. This will ensure that the engine does not overheat. Since you're running the engine on a test stand there is much less cooling air flowing over the engine than if the engine was in a model that was flying.

The running-in process allows the engine parts to perfectly fit each other and properly protect each part from premature wear. We suggest that you start the running-in process with the engine on a test stand for approximately 1 hour, then mount the engine into your model and fly. Running-in in the engine is a simple process. Follow the suggestions below:

- Use a fuel/oil mixture ration of 25:1 for the running-in process. The extra oil will aid in the running-in process and help prevent overheating and premature wear. This fuel mixture ratio should be used for the first 2-3 hours of runtime.
- Use a smaller diameter propeller than you would normally use. We recommend a 20 x 8. The smaller propeller will not load the engine as much.
- Start the engine and allow the engine to idle for no less than 1 minute to allow it to adequately warm up. After 1 minute slowly advance the throttle to approximately half throttle and allow the engine run for 5 minutes, then bring the engine back down to idle.
- Continue to run the engine at varying throttle settings for approximately 1 hour, being conscious not to run the engine at full throttle for more than 10 seconds. Allow the engine a cool down period every 15 minutes or so. After 1 hour, the engine can be installed into your model and flown.

RUNNING THE ENGINE

♦**IMPORTANT**♦ Be aware that when the engine is new, it will not produce the rpm and power that a well used engine will. Expect rpm's to increase as you run the engine more and more. The engine will require about 12 - 20 hours of run-time before it will produce its full power potential.

♦**VERY IMPORTANT**♦ Be careful never to lean the engine out too much. Remember that the lubricants for your engine are suspended in the fuel. If you lean out the fuel mixture too much you will also be lowering the amount of lubricant entering your engine. Less lubricant means more chance of your engine overheating and possible engine failure.

- When you make adjustments to the carburettor, you must shut off the engine using the kill switch.
- You should use a 25:1 fuel/oil mixture ratio for the first 2-3 hours of runtime. After that, you can use a 40:1 fuel/oil mixture ratio.
- Mount the engine into your model. Start the engine and allow it to idle for about 1 minute to allow it to adequately warm up. After 1 minute, advance the throttle to full. Using a tachometer, adjust the high speed mixture screw for full power, then turn the high speed mixture screw counterclockwise about 5° to richen the mixture slightly. This is the setting at which you should fly the model.
- Bring the throttle down to idle and allow the engine to idle for 30 seconds. After 30 seconds, advance the throttle to full. The engine should transition from idle to full power smoothly and quickly. If the engine quits suddenly, the low speed mixture is too lean. Turn the low speed mixture screw counterclockwise 5° to richen the idle mixture. If the engine splutters and quits, the low speed mixture is too rich. Turn the low speed mixture screw 5° clockwise to lean the mixture. Start the engine and check the transition again. If it's still not correct, repeat this procedure until you're satisfied with the transition. Unlike a glow engine, these needles require very little movement to change the mixture.

MAINTENANCE

- Avoid running the engine under dusty conditions or where there are loose rocks or sand.
- Wipe the outside of the engine dry using a soft cloth.
- Use a fuel filter between the fuel tank and the carburettor.
- Periodically check to make sure all of the engine bolts are tight, including the engine mounting bolts.
- Periodically check to make sure that the timing sensor and ignition cable are not chaffed or otherwise damaged.
- Periodically check the condition and gap of the spark plug, especially when a noticeable drop in performance is seen. If the spark plug electrode is damaged or worn, replace the spark plug.
- Periodically check the condition of the spark plug cap and the grounding cable. The boot should be soft and pliable, and not show any signs of cracking or other damage.

TROUBLESHOOTING

Problem: The engine is flooded.

Solution: Remove the spark plug and turn the engine upside down to drain any excess fuel from the engine. Dry off spark plug electrode and reinstall the spark plug.

Problem: The engine starts after being choked, but stops shortly after.

Solution: The low speed mixture is probably too lean. Readjust the low speed mixture screw to 1.5 turns out from fully closed and readjust from there. This problem can also be caused by a dirty carburettor or faulty ignition.

Problem: The engine runs rough and vibrates excessively

Solution: Balance the propeller and spinner, and check to ensure that the propeller bolts are tight. Check the spark plug for excess carbon build up and the proper gap setting. Replace the spark plug and/or reset the gap. Check to ensure that the engine mounting bolts are tight. Check for over-rich mixtures.

Problem: The engine doesn't reach normal RPM at full throttle.

Solution: Check the carburettor mixture settings. Check that you are not using a propeller larger than recommended. Check that the engine is not overheating and that you are using the recommended fuel/oil mixture ratio. Check the spark plug for excessive carbon build up or other defects.

SERVICE INFORMATION

For warranty and technical support, please contact your local distributor:

In North America:

Global Services
18480 Bandilier Circle
Fountain Valley, CA 92708

Phone: (714) 963-0329
Fax: (714) 964-6236
Email: service@globalhobby.net



In Europe:

Ripmax Ltd.
241 Green Street,
Enfield, U.K. EN3 7SJ

Phone: (0)20 8282-7500
Fax: (0)20 8282-7501
Email: mail@ripmax.com



The THOR 45 CDI Petrol Engine is distributed exclusively in North America by Global Hobby Distributors and in Europe by Ripmax Ltd.

All contents copyright © 2005/7 Global Hobby Distributors Version 1.2 January 2007

THOR 45 PETROL ENGINE REPLACEMENT PARTS LIST

TO ORDER REPLACEMENT PARTS, PLEASE VISIT YOUR LOCAL THOR PETROL ENGINE DEALER FIRST. IF YOUR LOCAL DEALER DOES NOT STOCK THOR PETROL ENGINE PARTS, PLEASE CONTACT THE LOCAL THOR PETROL ENGINE DISTRIBUTOR SHOWN HERE.

In North America:

Global Services
18480 Bandilier Circle
Fountain Valley, CA 92708

Phone: (714) 963-0329
Fax: (714) 964-6236
Email: service@globalhobby.net

In Europe:

Ripmax Ltd.
241 Green Street,
Enfield, U.K. EN3 7SJ

Phone: (0) 20 8282-7500
Fax: (0) 20 8282-7501
Email: mail@ripmax.com

			
THR45-0010 CDI Ignition Module	THR45-0020 Spark Plug	THR45-0030 Cylinder	THR45-0110 Crankcase - Front
			
THR45-0120 Crankcase - Rear	THR45-0170 Bearings - Crankshaft	THR45-0360 Carburettor Assembly	THR45-0370 Crankcase Pressure Tube
			
THR45-0160 Crankshaft w/Connecting Rod	THR45-0190 Prop Mount Assembly	THR45-0310 Sensor	THR45-0150 Crankcase Gasket
			
THR45-0340 Carburettor Gasket - Outer (2)	THR45-0040 Cylinder Base Gasket	THR45-0330 Carburettor Gasket - Inner	THR45-0410 Silencer Gasket
			
THR45-0380 Flat Standard Silencer	THR45-0210 Crankshaft Retaining Nut	THR45-0180 Crankshaft Seal	THR45-0200 Woodruff Key

Continued on Back Page

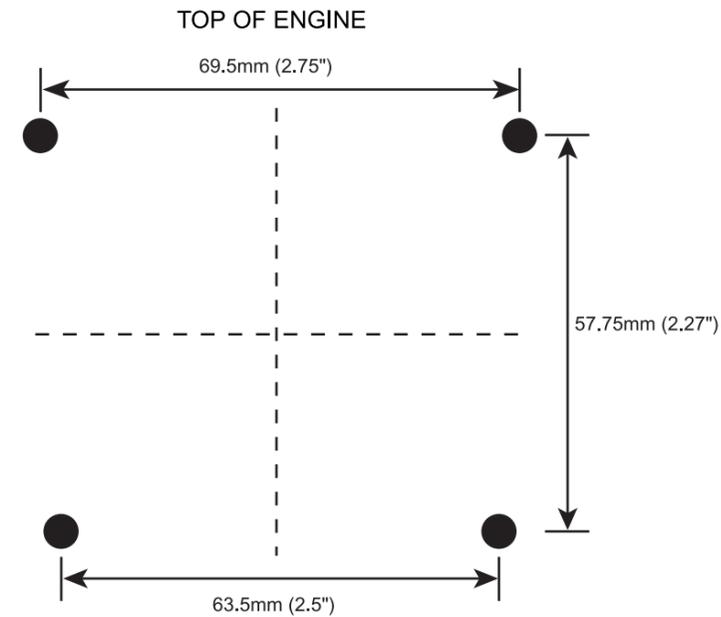
THOR 45 PETROL ENGINE REPLACEMENT PARTS LIST, CONTINUED....

			
THR45-0140 M5 Crankcase Bolt Spring Washers	THR45-0400 M5 Silencer Mounting Nuts	THR45-0260 M4 Split Washers for Prop Adapter	THR45-0230 M8 Crank Retaining Split Washer
			
THR45-0220 M8 Crank Retaining Washer	THR45-0480 M5 Flat Washers	THR45-0460 M5x55 Mounting Bolts	THR45-0320 Carb Mount & Velocity Stack
			
THR45-0050 M5x15 Cylinder Head Bolts	THR45-0240 M8x40 Propeller Bolt	THR45-0350 Carburettor Insulator	THR45-0390 M5x40 Carb Bolts
			
THR45-0440 M5x60 Silencer Bolts (STD)	THR45-0250 M4x40 Prop Retaining Bolts	THR45-0470 Sensor Mounting Screws	THR45-0130 M5x25 Crankcase Bolts
			
THR45-0270 M4x10 Prop Adapter Bolts	THR45-0490 Spark Plug Wrench	THR45-0500 Hex Wrench	THR45-0060 Piston
			
THR45-0070 Piston Ring Set	THR45-0080 Small End Bearing with Thrust Washers	THR45-0100 Circlips - Piston	THR45-0090 Piston Pin

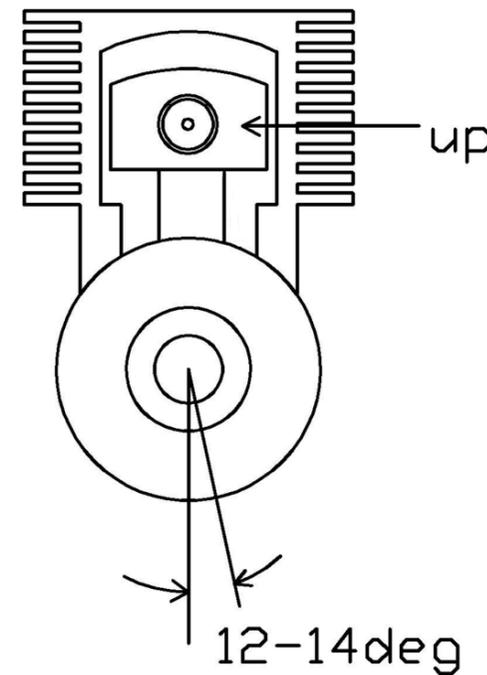
THOR 45 PETROL ENGINE REPLACEMENT PARTS LIST, CONTINUED....

		
THR45-0420 Pitt's-Style Silencer (Optional)	THR45-0430 Quiet Silencer (Optional)	THR45-0450 Engine Mount Spacers

THOR 45 PETROL ENGINE MOUNTING BOLT PATTERN AND TIMING



Use this scale template to lay out the mounting bolt pattern onto your model's firewall.



Use this information to help reset the timing, should it be necessary.

With the piston at TDC, the sensor 'plug' in the prop adapter should be straight down. Next, adjust the sensor mount so that the sensor is 12°-14° to the right (when looking at the front of the engine). A timing gauge attached to the prop shaft should be used to help align the sensor mount correctly.

SERVOXCITER EF

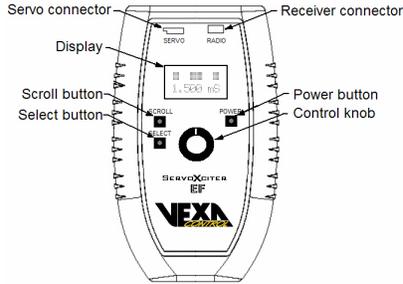
A precision servo driver/tester with current meter and receiver diagnostics.

DESCRIPTION

The **ServoXciter EF** is a compact precision servo driver/tester that is capable of driving an R/C servo throughout its useable band in 1024 discrete steps and also features...

- One touch servo centering
- Servo current draw display with 10 milliamp resolution
- Servo dead-band checking
- Servo auto-sweep mode with 32 speeds
- Record and playback custom servo movements (up to 38 seconds)
- **NEW! High Frame Rate capability (with standard or narrow pulses).**
- Read your receiver's output signal with 1 microsecond resolution
- Save your receiver's center and end points to use when driving a servo
- View receiver glitches (short, long, and missing pulses)
- View your receiver battery pack's voltage
- **NEW! DC power jack (for 8 to 12 volt wall transformers).**

The **ServoXciter EF** utilizes an easy to read LCD display, three buttons (SCROLL, SELECT, POWER), and a knob to activate the different modes and control a servo.



TURNING ON and OFF

Press the **POWER** button to turn the **ServoXciter EF** ON. The **ServoXciter EF** is turned OFF by pressing and holding the power button until the display shows "Release button". The **ServoXciter EF** also has an auto off mode which will turn the unit off automatically after a set amount of time of non-use (see **AUTO-OFF** section).

CONNECTORS

The **ServoXciter EF** has two connectors. The **LEFT** connector (**SERVO**) is the servo connector and **RIGHT** connector (**RADIO**) is the receiver connector. Both connectors have a signal, plus, minus (**S + -**) configuration and the label shows the layout.

To plug your receiver into the **ServoXciter EF** you should use an aileron extension cable.

The **ServoXciter EF** has one jack for using an external DC power source. Use a wall transformer rated for 8 to 12 volts, 800 mA+, with a 0.70mm ID and 2.35mm OD plug.

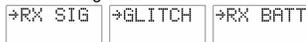
OPERATING MODES

The **ServoXciter EF** has nine modes for testing servos and radios. Press the **SCROLL** button to cycle through the modes. You can disable any mode (except ? **DRIVE**) so that it is not available during operation (see **SET-UP MENU** section). This is useful if you find that you never use some of the modes and would like to not have them available. The modes can easily be turned back on when desired.

Servo test modes:



Receiver diagnostic modes:



HIGH FRAME RATE ENABLE

SCROLL + SELECT + POWER

The **ServoXciter EF** can drive digital servos that require the High Frame Rate (4mS) instead of the standard frame rate (20mS).

Press and hold the **SCROLL** and **SELECT** buttons while powering the **ServoXciter EF**. The display will show "HFR >ACTIVE<" for 2 seconds and then ask "narrow pulses?". Press the **SCROLL** button for narrow pulses (0.50 ms to 1.00 ms, 0.75 ms center). Press the **SELECT** button for standard pulses (1.00 ms to 2.00 ms, 1.50 ms center).

The **ServoXciter EF** will only operate with the High Frame Rate when turned ON while holding the **SCROLL** and **SELECT** buttons, otherwise it operates with the standard frame rate.

SERVO TEST MODES

DRIVE mode.

The bars at the top of the display show the relative position of the servo while the bottom line shows the output pulse to the servo in milliseconds (with .001 millisecond resolution). The servo is within center range when the two center bars and two outer bars are on.



Centering a servo is as easy as pressing the **SELECT** button while in the ? **DRIVE** mode. The display will show the centered indication (two outer and two center bars on) with the addition of the two markers to indicate that the unit is in one-button-center mode. The mS display will show the saved center pulse. Press the **SELECT** button again to give servo control back to the control knob.



CURRENT mode.

The top line display will show the average amount of current that the servo is drawing and the bottom line will show the maximum current draw with a resolution of 10 milliamps. Press the **SELECT** button to reset the maximum current back to 0 amps.



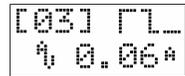
DEADBND mode.

Use the control knob to vary the dead-band value from 0 to 31 microseconds. Start with a dead-band value of 0 and slowly increase until >ACTIVE< is displayed or flashing. This point is the minimum pulse difference required to cause movement in the servo.



SWEEP mode.

Press the **SELECT** button to turn auto-sweep on and off. Use the control knob to vary the speed of auto-sweep from 1 - 16 (16 is the fastest). Auto-sweep will only be active while the sweep display is on.



RECORD mode.

Press the **SELECT** button to **PLAY (ON)** or **STOP (OFF)** the playback of your recorded servo movements. Press and **HOLD** the **SELECT** button to record the servo movements you perform with the control knob (the display will show REC). Up to 39 seconds of recording is possible.



9V BATT mode.

The voltage of the 9 volt battery is displayed here.



RECEIVER DIAGNOSTIC MODES

RX SIG mode.

This mode shows the pulse coming from your receiver to drive a servo and its pulse recurring time frame (usually around 20 milliseconds for standard frame rate and 3 to 4 milliseconds for high frame rate). This requires a servo extension cable (typical of aileron extensions) to be plugged into your receiver and into the **RADIO** connector of the **ServoXciter EF**.



Save your custom center pulse

Center your trims and stick and then press the **SELECT** button. The display will show "S-Center" to indicate that the center pulse was saved if your receiver's pulse was between 1.350 ms and 1.650 ms (0.675 and 0.825 for narrow pulse mode).

Save your custom endpoint pulses

Deflect your stick in one direction then press the **SELECT** button. The display will show "S-End pt" to indicate that the endpoint was saved. Deflect your stick in the opposite direction and then press the **SELECT** button. The display will show "S-End pt" to indicate that the endpoint was saved.

The **ServoXciter EF** has memory for three sets of center and endpoints (normal frame rate, high frame rate/standard pulses, and high frame rate/narrow pulses).

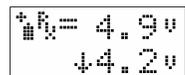
GLITCH mode.

This mode shows the number of glitches recorded. The bottom left part of the screen (with down arrow) show the number of missing pulses. The upper right part of the screen shows the number of pulses longer than 2.500 milliseconds (1.300 ms narrow pulse mode), and the bottom right part of the screen show the number of pulses shorter than 0.500 milliseconds (0.250 ms narrow pulse mode). Press the **SELECT** button to clear the pulse counts.



RX BATT mode.

This mode shows your receiver pack battery voltage on the top line and the minimum voltage detected on the second line. Press the **SELECT** button to reset the minimum voltage.



TESTING SERVOS

Connect the servo to be tested.

Hold the servo in your hand while sweeping the servo back and forth (manually or auto-sweep). Listen and feel for clicking that may indicate stripped gears (repeat while applying slight pressure to the servo horn).

Put the **ServoXciter EF** into **CURRENT** mode and watch the current. Typical idle current draw on a standard S3003 servo will be approximately 0.01 amps with no load. If the current is excessively high there may be binding internal to the servo or in the linkages. A servo that pulls too much current will drain the receiver pack faster and can lead to a crash.

Put the **ServoXciter EF** into **SWEEP** mode and watch the smoothness of the sweep during differing speeds. Jerky operation (especially near center) could indicate a bad servo pot. Jittering at the ends of the range could indicate a problem with the servo electronics.

Put the **ServoXciter EF** into **DEADBND** mode and check the deadband of the servo. Standard ranges are from approximately 4 – 20 μ S. The higher this value the less precise the servo will be. If this value is very low the servo may hunt. Use the deadband feature to check compatibility between servos for ganging operation, compare servos for resolution, and diagnose electronic problems.

Put the **ServoXciter EF** into **RECORD** mode and record a custom servo movement. This is useful when breaking-in servos with a custom sweep (slow sweep followed by fast sweep, with wait periods at the extremes). Use this mode to record a custom servo movement for breaking in gas engines on the bench. Start at idle, ramp up to mid RPM and hold, ramp to max RPM and back to three-quarters RPM and hold, drop back to one-quarter RPM, etc.

TESTING RECEIVERS

Connect the receiver to be tested.

Put the **ServoXciter EF** into the **RX SIG** mode. Use your transmitter to vary the output pulse. Watch the display for a smooth pulse transition. Leave the pulse in one spot and observe the displayed pulse. Any large changes could indicate a receiver problem or interference. Use this mode to check for transmitter stick centering repeatability. Watch the PRT (Pulse Recurrent Time) display for any rapid changes. A normal PRT will be approximately 19 – 21 milliseconds. If the PRT is very long (eg. 40mS) then the servo reaction time will be slow. If the PRT is very short (eg. 5mS) then it may cause a jittery servo condition (unless the servo is designed for High Frame Rate).

Put the **ServoXciter EF** into the **GLITCH** mode. The numbers should remain at zero. If a number is incrementing then the receiver is sending short pulses, long pulses, or no pulses at all. This could cause a loss of an airplane because the servo will react slowly or not at all.

Use the Glitch mode to do a radio range check!

SET-UP MENU

SCROLL + POWER

The set-up menu will allow you to customize your **ServoXciter EF** to your liking. This menu will allow you to turn ON/OFF the modes available during operation, change the servo rotation, and adjust the auto-off time. Press and hold the **SCROLL** button while turning on the power to enter the set-up menu. Use the **SCROLL** button to cycle through the set-up menu items and the **SELECT** button to modify the menu item.

"Mode Config" allows you to turn operating modes ON or OFF so you can customize which modes are visible.

Mode
Config

"Servo Rotation" allows you to change the direction the servo rotates when you move the control knob.

Servo
Rotation

"Auto Shutoff" allows you to change the time the **ServoXciter** stays on before it will automatically shut-off.

Auto
Shutoff

"Exit Set-up" exits the set-up menu.

Exit
Set-up

Mode Config

The top line shows the mode to be modified and the second line shows Mode=On or Mode=Off. Use the **SELECT** button to toggle the mode OFF or ON. Use the **SCROLL** button to move to the next mode. Press the **SELECT** button when the display shows "Save and Exit" to exit.

Servo Rotation

The top line shows "Rotation" and the bottom line shows either "normal" or "reversed". Use the **SCROLL** button to toggle normal/reversed. Use the **SELECT** button to save and exit.

Auto Shutoff

The top line shows "Auto Off" and the bottom line shows either 1 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 60 min, or never. Use the **SCROLL** button to toggle to the desired auto off value. Use the **SELECT** button to save and exit.

Exit Set-up

Press the **SELECT** button to exit the set-up menu and return to normal operation.

AUTO-OFF

The **ServoXciter EF** features an automatic shut-down function to save battery life when it has been accidentally left on. This feature is enabled/adjusted in the set-up menu (see

SET-UP MENU section). Auto-off can be set up to turn the **ServoXciter EF** off after 1, 5, 10, 15, 30, or 60 minutes of idle time. The auto-off option can also be turned off by setting the time to "never". The **ServoXciter EF** will turn itself off if the knob and buttons haven't been touched for the auto-off time.

Auto-off has no affect when the **ServoXciter EF** is in ? **RECORD** mode.

RESETTING DEFAULTS

SELECT + POWER

The **ServoXciter EF** can be reset to the factory defaults by pressing and holding the **SELECT** button while powering the **ServoXciter EF**. The default restore feature will set 1.500 milliseconds as the center position, 1.000 and 2.000 milliseconds as the end points, auto-off will be set to "never", servo rotation will be normal, and all modes will be available.

Defaults
Loaded

SPECIFICATIONS

Power:	requires one 9 volt rechargeable (or alkaline) battery.
Current:	can source 1A to a servo.
Temp range:	0C to 70C
Environment:	dry only.
Output Signal:	Default range- 1.000mS – 2.000mS (1.500mS center). (maximum range 0.501mS – 2.499mS).
Resolution:	1024 steps
Servo Voltage:	regulated 5 VDC
Current resolution:	10 milliamps

WARRANTY

Limited 1 year warranty

For 1 year from date of purchase, Vexa Control, Inc. will repair or replace the **ServoXciter EF** free of charge if defective in material or workmanship. This warranty gives you specific legal rights. You may also have other rights which may vary from state to state. Service is available from Vexa Control, Inc. through support@vexacontrol.com

PROBLEM SOLVING

Won't power on – Verify proper battery polarity and voltage. Verify proper servo and/or receiver connection (signal, plus, minus).

Won't power off – Replace the 9V battery. When the battery power drops below 6.2 volts the **ServoXciter EF** will not be able to be turned off with the **POWER** button.

Won't read receiver pulse – Verify that receiver is powered and functioning. Check connection from receiver to **ServoXciter EF**. Verify extension cable is good.

Display is black – Take unit out of direct sunlight and the display should return to normal. Never leave the **ServoXciter EF** in direct sunlight for extended periods of time.

Display shows black bars and does not operate – This may happen if the **ServoXciter EF** is turned on while plugged into an operating receiver. Remove the receiver plug, power up the **ServoXciter EF** and then plug into the receiver. If there is still a problem, reload the default parameters – press and hold the **SELECT** button while powering the unit.

Display shows strange numbers – Reload the default parameters – press and hold the **SELECT** button while powering the unit.

Servo control is inoperative or erratic – Verify servo is connected properly. Verify servo works. Reload the default parameters – press and hold the **SELECT** button while powering the unit.

One or more of the modes are missing – Turn the mode(s) back on by using "Mode Config" in the SET-UP MENU (see *SET-UP MENU* section).

The servo doesn't turn in the same direction as the control knob – Some servos have reversed control (which is normal). You can force the **ServoXciter EF** to reverse its output pulse by changing the "Servo Rotation" in the SET-UP MENU (see *SET-UP MENU* section).

CONTACT INFO

The Vexa Control website

<http://www.vexacontrol.com>

E-mail

support@vexacontrol.com

Mailing address

Vexa Control, Inc.

P.O. Box 830301

Ocala, FL 34483-0301

12. 7 ANEXO 7. Uniones¹⁴

Este anexo se incluye con el propósito de complementar el epígrafe 8.2 Procesos de integración estructural. Las uniones que se pueden encontrar en el mismo se pueden clasificar en dos grandes grupos: permanentes o fijas, y desmontables. Dentro del primer grupo se incluyen las uniones adhesivas y las uniones soldadas, mientras que dentro del segundo grupo se encuadran las uniones atornilladas y otras como las fijaciones mediante velcro, bridas o pines de acero. A continuación se estudian con detalle todas estas uniones excepto las adhesivas que están ampliamente documentadas en [41].

12.6.1 Uniones atornilladas

Otro tipo de uniones que se encuentran en esta aeronave son las atornilladas, que pese a que introducen peso en la estructura son fácilmente desmontables, y permiten unir materiales muy dispares, i.e. contrachapado y acero. Al ser fácilmente desmontables permiten separar con rapidez los diferentes módulos que conforman el UAV, y por tanto juegan un papel esencial en la modularidad de la aeronave y en todo lo que se deriva de esta cualidad.

- Los elementos que se emplean y su ubicación en el avión son:

a) Tornillos

- Tornillos de diferente métrica: Métricas 3 y 4 (con distintas longitudes que pueden ser consultadas en el *Epígrafe 10*) con cabeza para llave Allen (empleados en: compuertas de Ala, Morro, Fuselaje Central y Estabilizadores, uniones de las escuadras de mando a las superficies de control, en las varillas de transmisión asociadas a las superficies de control y tren de morro, y en la unión Morro – Fuselaje Central)
- Tornillos de métrica 5 mm con cabeza para destornillador de punta plana (empleados en: la cogida Ala Central – Ala Extremo, agarres de acero de los Tubos de Cola – estructura del Estabilizador Horizontal).
- Tornillos de métrica 5 mm con cabeza hexagonal (empleados en: la cogida del tren trasero, unión cuadernas del Fuselaje – Largueros del Ala Central).
- Tornillos de métrica 5 mm con cabeza para destornillador de punta de estrella. (empleados en: la cogida del tren delantero)
- Tornillos de métrica 5 mm con cabeza para llave Allen (empleados en: cogida de los Tubos de Cola).

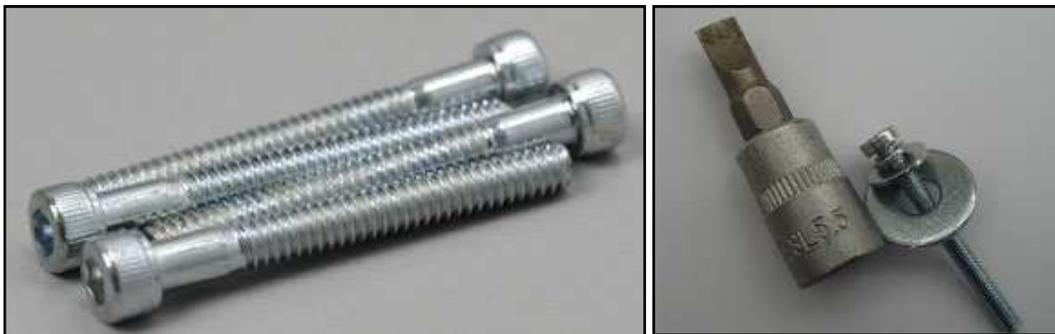


Imagen 13.9 (izquierda): Tornillo para llave Allen 4-40 x 3/4". Fuente: <www.ripmax.com>

Imagen 13.10 (derecha): Tornillo para destornillador de punta plana, métrica 5mm. Fuente: Elaboración propia

¹⁴ Este epígrafe está basado en

[4] <www.ripmax.com>

[6] <www.greatplanes.com>

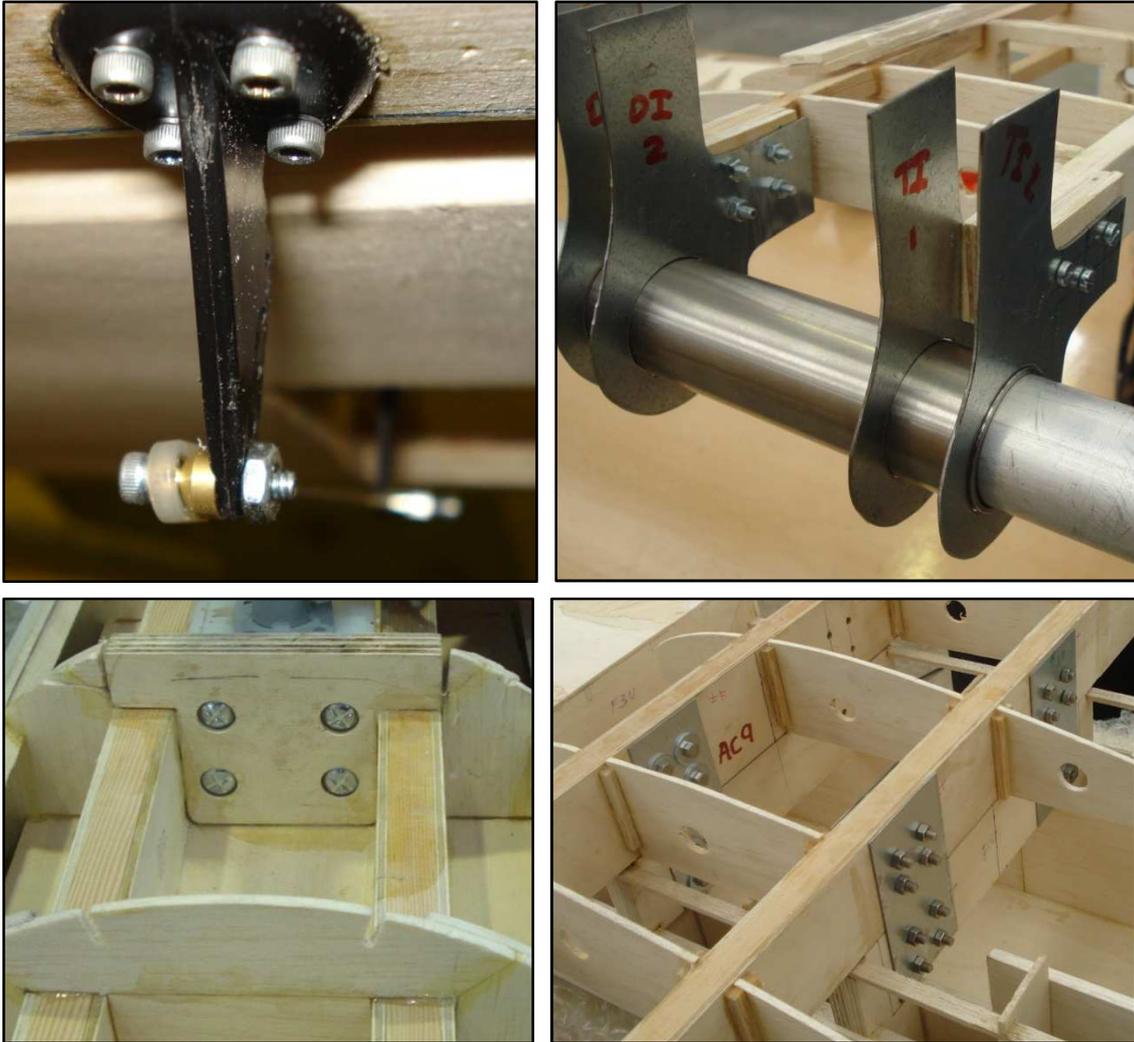


Imagen 13.11 (superior izquierda): Tornillos 4-40 en una escuadra de mando, y una varilla de transmisión / Imagen 13.12 (superior derecha): Unión atornillada en los agarres de acero de los tubos de cola – estructura del Estabilizador Horizontal / Imagen 13.13 (inferior izquierda): Unión atornillada en la cogida del tren delantero / Imagen 13.14 (abajo derecha): Unión atornillada de las cuerdas del Fuselaje principal a largueros del Ala Central.
Fuente: Elaboración propia.

b) Tuercas

b.1) Tuercas de diferente métrica: Métricas 3, 4 y 5 mm.



Imagen 13.15 (izquierda): Tuerca de autobloqueo con insertos de nylon, métrica 4 / Imagen 13.16 (derecha): Tuerca convencional de métrica 4. Fuente: <www.ripmax.com>

La ubicación de estas tuercas en el avión se limita a:

- Las tuercas de bloqueo se emplean solamente en la cogida del tren de aterrizaje trasero.
- Las tuercas convencionales están asociadas a todas las uniones atornilladas que se han expuesto con anterioridad.

b.2) Tuercas de clavar de diferentes métricas: Métricas 3, 4 y 5 mm

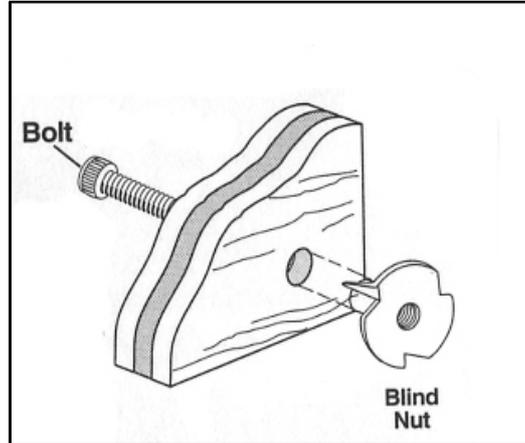


Imagen 13.17 (izquierda): Tuerca ciega o de clavar de métrica 3. Fuente: <www.ripmax.com>

Imagen 13.18 (derecha): Colocación de una tuerca de clavar. Fuente: Elaboración propia a partir de <www.greatplanes.com>

La ubicación en el avión de este tipo de tuercas se reduce a:

- Compuertas de Extremos de Ala, Ala Central, Morro, Estabilizador Horizontal, Estabilizador Vertical.
- Cogida del motor al firewall
- Cogida Ala Central – Ala Extremo
- Cogida Morro – Fuselaje



Imagen 13.19 (izquierda): Tuercas de clavar en la compuerta de Morro / Imagen 13.20 (derecha): Tuercas de clavar en la cogida Motor – Firewall. Fuente: Elaboración propia



Imagen 13.21 (izquierda): Tuerca de clavar en la unión Ala Central - Ala Extremo.
Fuente: Elaboración propia

c) Arandelas simples y Grower de diferente métrica



Imagen 13.22 (izquierda): Arandela convencional de métrica 4 / Imagen 13.23 (derecha): Arandela de cierre (Grower) de métrica 4. Fuente: <www.ripmax.com>

La ubicación en el avión de estas arandelas se tiene en:

- Su uso está asociado a las uniones atornilladas que se han expuesto con anterioridad (Las arandelas Grower sólo se emplean para métrica 5 mm en las cogidas de motor y en las uniones Ala Central – Ala Extremo, y métrica 2 mm en los amortiguadores de la placa de montaje del motor)

d) Insertos roscados de métrica 4

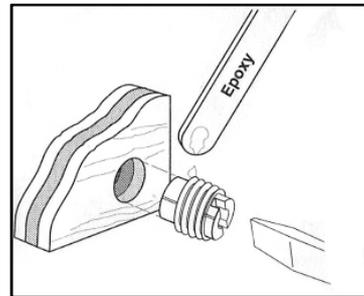


Imagen 13.24 (izquierda): Inserto roscado métrica 4. Fuente: <www.ripmax.com>

Imagen 13.25 (derecha): Colocación de un inserto. Fuente: Elaboración propia a partir de <www.greatplanes.com>

La ubicación en el avión de los insertos roscados comprende:

- Unión Morro – Fuselaje.



Imagen 13.26 (izquierda): Insertos roscados en la unión Morro - Fuselaje. Fuente: Elaboración propia

e) Presillas de acero

La ubicación en el avión se limita a:

- Tren de aterrizaje de Morro.



Imagen 13.27 (izquierda): Presilla de acero. Imagen 13.28 (derecha): Sujeción del tren de morro mediante presilla. Fuente: Elaboración propia

f) Líquido para fijación de tornillos

Como comentario adicional para cerrar la sección de uniones atornilladas cabe señalar el empleo de sustancias fijadoras que las aseguran: se dispone de “fija tornillos” de dos clases (según la dureza extra que proporcionan a la unión roscada).

12.6.2 Uniones soldadas¹⁵

El proceso de soldadura para la unión de metales se ha empleado en las cogidas subalares y de cola de los Tubos de Cola. En estos agarres se ha empleado Acero galvanizado de espesor 1 mm o 2 mm según el elemento (para más detalle ver el epígrafe 5. *Planos de Configuración*).

Respecto a la elección de Acero para la sujeción de los Tubos de Cola puede pensarse que no es del todo adecuada, porque es un elemento que introduce demasiado peso en la estructura, y efectivamente así es. Por tanto se puede argumentar que la fabricación de este conjunto en Aluminio hubiera sido más correcta, entonces ¿por qué esta elección? La razón de ello es que la unión del tubo con las placas de metal debe hacerse mediante soldadura, y soldar Aluminio es más complicado que hacerlo para acero, entre otras cosas, porque hacen falta equipos muy caros de los que no se dispone en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla. En efecto, soldar Aluminio es algo delicado que presenta entre otras dificultades:

- No todas las aleaciones de Aluminio son soldables: de hecho sólo son soldables una minoría. Además de ser soldable se necesita que sea tratable térmicamente para aliviar tensiones al final del proceso de soldadura.
- El debilitamiento de esta soldadura es importante: principalmente porque la conductividad térmica del aluminio es grande, lo cual da pie a que las zonas afectadas térmicamente (que se puede decir es la que genera la debilidad) sean mayores.
- El gran riesgo de la soldadura de Aluminio es la inclusión porosa: por ser un metal de conductividad térmica alta, que se enfría rápido y de baja densidad, es frecuente que queden burbujas de gas atrapadas en el cordón de soldadura lo cual genera una fragilidad importante. Esto supone que la atmósfera de ejecución de esta soldadura debe ser controlada y en definitiva hablamos de medios técnicos de los que no disponemos.
- Enfriamiento homogéneo: El enfriamiento rápido propio de esta soldadura puede hacer que se generen tensiones de tracción residuales en la zona adyacente al cordón, lo cual debilita la soldadura.

A groso modo estos son los inconvenientes de soldar Aluminio, y por tanto en base a una decisión de fabricabilidad se ha optado por trabajar con Acero, pese a que suponga una penalización del peso. Respecto al procedimiento empleado, éste ha sido el de soldadura por llama.

La soldadura por llama es un proceso de soldadura por fusión, es decir, existe fusión tanto del metal base (en este caso el acero) como del metal de aporte (también acero). Fue el primer procedimiento desarrollado industrialmente (principios del XX) y se emplea para metales férreos y no férreos. Es un proceso de baja productividad que se aplica generalmente a la soldadura de chapas finas, empleando para ello un soplete, que proporciona la llama, y una varilla de metal que se funde y se deposita sobre la superficie que se va a soldar para compensar desgastes y conferir propiedades mecánicas a la unión. Las características principales de este procedimiento de soldadura se recogen en la tabla 13.1:

¹⁵ Este subepígrafe está basado en

[28] J. Cañas, F. París, R. Picón. "Diseño y Construcción de Uniones Soldadas". Grupo de Elasticidad y Resistencia de Materiales. Sevilla, curso 2007/2008

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Fuente de calor	Llama de gas obtenida por combustión de dos gases
Aportación	Externa, mediante varilla
Protección	El propio gas resultante de la combustión. Si procede además fundente – producto químico que evita la formación de óxidos que pueden quedar ocluidos en la soldadura – (no es el caso)
Aplicaciones	Todos los metales
Tipo de proceso	Manual
Ventajas y Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso manual en el que el que el soldador tiene el control sobre la fuente de calor y el metal que aporta. • El equipo de soldadura es de bajo coste y puede emplearse también en procesos de corte • Especialmente indicado para soldadura de chapas finas • Procedimiento de baja productividad • El elevado aporte térmico que se produce, así como la baja velocidad de soldeo, hacen que se produzcan distorsiones importantes en los conjuntos soldados.

Tabla 13.1: Características principales del proceso de soldadura por llama. Fuente: [28]

La fuente de calor es el resultado de la combustión de dos gases, uno comburente y otro combustible. El primero de ellos es siempre el oxígeno, mientras que el segundo suele ser un hidrocarburo. En este caso se ha empleado Maxigas 400, que es una mezcla de gas propano con butano, enriquecida con acetileno. En función de la mezcla de estos gases la llama obtenida tiene unas propiedades u otras, pero la adecuada para soldadura de aceros es la llamada llama neutra (misma cantidad de oxígeno y gas combustible).

El gas se suministra en cilindros a presión, que tienen en su salida, manorreductores para disminuir la presión de los gases y mantenerla estable. Respecto al soplete, se compone de un cuerpo o mango con válvulas de regulación y de boquillas intercambiables. Su misión es mezclar los gases y conseguir una llama óptima para soldar. Un esquema del equipo empleado se indica en la imagen 13.29.

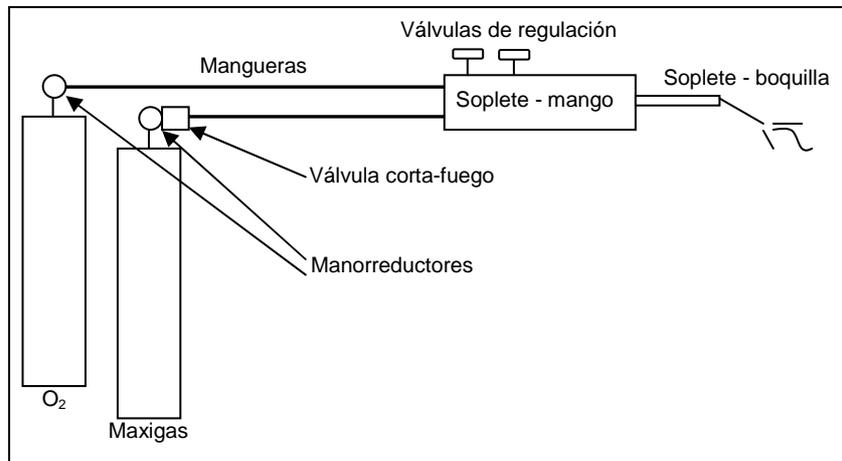


Imagen 13.29: Equipo para soldadura con llama. Fuente: Elaboración propia a partir de [28]

Procesos de Fabricación, Integración y Pruebas Funcionales de un Avión no Tripulado
El Proyecto Céfire

El encendido se realiza dando salida primero al Maxigas y luego actuando sobre el regulador de oxígeno de la pistola, se regula la llama hasta conseguir la neutra (esto se aprecia a simple vista, pues, es una llama corta de tono azulado brillante en su base). Todo esto se muestra en las imágenes 13.30-13.32.



(De izquierda a derecha) Imagen 13.30 y 13.31: Encendido de la pistola y ajuste de la llama / Imagen 13.32: Equipo de soldadura por llama. Fuente: Elaboración propia

El procedimiento de soldadura se puede ver en las imágenes 13.33-13.36:



Imagen 13.33 (superior izquierda): Fundiendo el metal de aporte en forma de varilla mediante llama / Imagen 13.34: Cogida subalar del Tubo de Cola previa soldadura (zona superior derecha de la imagen). Fuente: Elaboración propia



Imagen 13.35 (izquierda): Soldando la cogida para los tubos de cola / Imagen 13.36 (derecha): Conjunto soldado.
Fuente: Elaboración propia

Para acabar con esta sección se va a mencionar otro proceso de soldadura que se ha realizado para las diferentes conexiones de los equipos de abordo (imágenes 13.37 y 13.39).

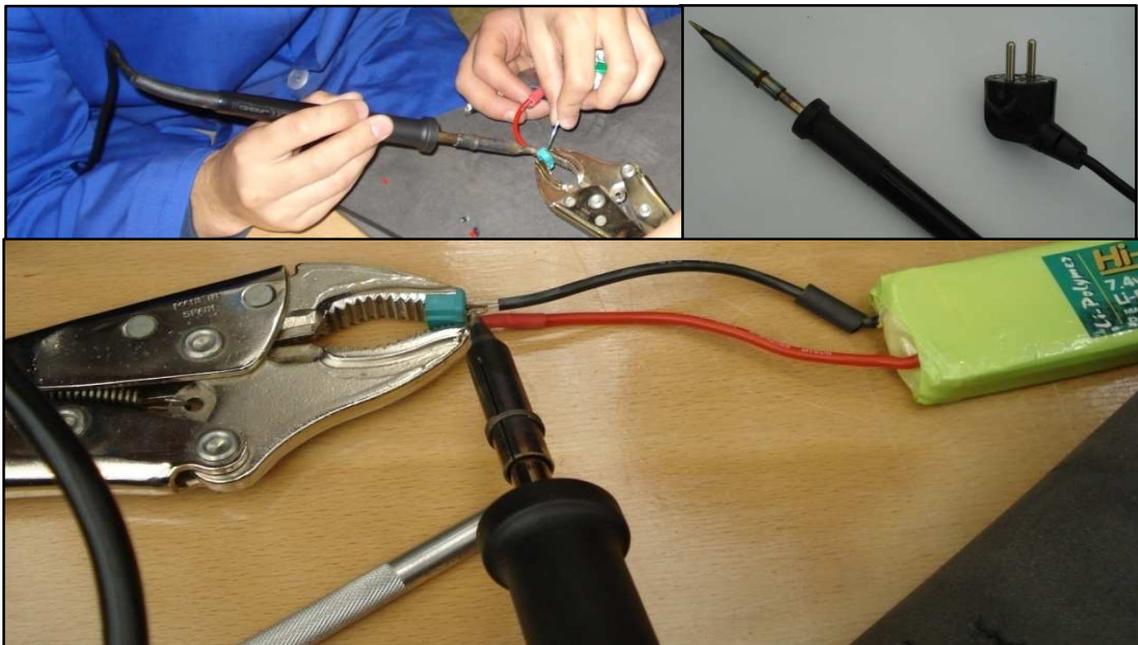


Imagen 13.37 (superior izquierda): Soldadura de conectores de batería. Imagen 13.38 (superior derecha): Soldador.
Imagen 13.39 (Sobre estas líneas): Soldando conectores de una batería, aplicando calor a una funda termo retráctil.
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en las imagen 13.38, el equipo para soldar conectores es muy sencillo; sólo se requiere un soldador que se conecta mediante enchufe a la red, un metal de aporte (que será el Estaño) y dos pequeñas fundas termo retráctiles que cubren el empalme realizado.

12.6.3 Otras uniones

Otras uniones que se encuentran en el UAV, que tienen la propiedad de ser desmontables, son las siguientes:

a) Sujeción por velcro

El velcro (imagen 13.40) permite la fijación de los equipos de abordo (baterías, receptor y regulador de tensión) (imagen 13.41) subsanando los problemas que pudieran aparecer por vibraciones e incluso movimiento de su posición.



Imagen 13.40 (arriba izquierda): Tiras de velcro. Fuente: <www.ripmax.com>

Imagen 13.41: Baterías y regulador de tensión alojados mediante velcro sobre una tabla de contrachapado. Fuente: Elaboración propia

b) Sujeción por bridas

Esta sujeción se emplea para asegurar los equipos de abordo (pese a que están bien sujetos mediante velcro) y organizar el cableado interior (imágenes 13.41 y 13.42). Se han utilizado dos tipos de bridas: las convencionales (imagen 13.42) y las de base adhesiva (imagen 13.43), que van pegadas a las paredes para distribuir los conectores dentro de la aeronave.



Imagen 13.42 (izquierda): Baterías y receptor unidos mediante velcro, y asegurados a través de bridas convencionales, a una tabla de contrachapado. Fuente: Elaboración propia



Imagen 13.43 (derecha): Brida con base adhesiva. Fuente: <www.ersonelectronica.com>

c) Sistema para asegurar las bisagras

Por último hay que señalar el uso de alfileres (imagen 13.45) para asegurar las uniones de las superficies de control (las cabezas en T son cortadas, una vez que se han clavado en la madera). No son explícitamente uniones en sí, pero pueden considerarse como tales. Las imágenes 13.44-13.46 clarifican meridianamente el concepto.

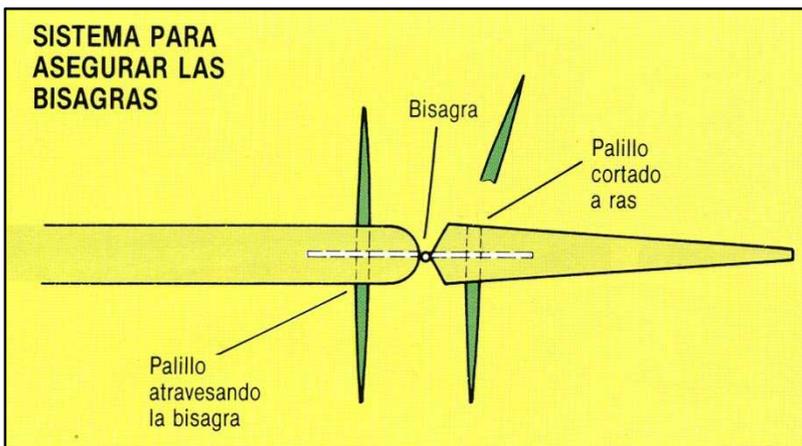


Imagen 13.44 (superior izquierda): Alfileres colocados para asegurar la unión del timón de dirección. Fuente: Elaboración propia. Imagen 13.45 (superior derecha): Alfileres en T. Fuente: <www.ripmax.com>
Imagen 13.46 (inferior): Esquema del sistema para asegurar bisagras. Fuente: Andrés Aylagas, et al. "Aeromodelismo y radiocontrol. Enciclopedia Práctica". Hobby Press, S.A. Madrid 1984

14. REFERENCIAS

14.1. Textos y direcciones web

- [1] <www.uavforum.com>
- [2] <<http://www.aiaa.org/images/PDF/WilsonChart.pdf>>
- [3] <www.uavm.com>
- [4] <www.ripmax.com>
- [5] <www.towerhobbies.com>
- [6] <www.greatplanes.com>
- [7] <www.donshobbyshop.com>
- [8] <www.hobbico.com>
- [9] <www.robart.com>
- [10] <www.futaba-rc.com>
- [11] <www.hobbystores.com>
- [12] Andrés Aylagas, et al. "Aeromodelismo y radiocontrol. Enciclopedia Práctica". Hobby Press, S.A. Madrid 1984
- [13] Cambone, Stephen, et al. "Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030" Agosto 2005
- [14] F. París, J. Cañas y J.C. Marín. "Introducción al análisis y diseño con materiales compuestos". Grupo de Elasticidad y Resistencia de Materiales. Sevilla 2006
- [15] <<http://www.fresadoras-cnc.com/index.html>>
- [16] <<https://www.onsrud.com/xdoc/FeedSpeeds>>
- [17] Javier García-Lomas Jung. "Apuntes de Fabricación Integrada", Sevilla, curso 2006/2007
- [18] Unceta, Herramientas de calidad. Unceta, S.A. Guipúzcoa 2001/2002. Tomo 10
- [19] Unceta, Herramientas de calidad. Unceta, S.A. Guipúzcoa 2008. Tomo 134
- [20] <<http://www.uav-info.com/pdf/abbreviation.pdf>>
- [21] <<http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/ABarrientos-CEDI2007.pdf>>
- [24] <www.baiaerosystems.com>
- [25] <<http://www.aaicorp.com>>
- [26] <www.inta.es>
- [27] <<http://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs.html>>
- [28] J. Cañas, F. París, R. Picón. "Diseño y Construcción de Uniones Soldadas". Grupo de Elasticidad y Resistencia de Materiales. Sevilla, curso 2007/2008
- [29] <www.aeromodelismo2000.com>
- [30] <<http://shop.graupner.de/webuerp/servlet/AI?ARTN=1905>>
- [31] <www.puffinmodels.com>
- [32] <www.futaba-rc.com>
- [33] Manual de uso de baterías de polímero de Litio, por <www.RCmaterial.com>
- [34] <www.ersoneselectronica.com>
- [35] Antonio Corrales Domínguez. "Apuntes de Integración de Sistemas y Pruebas Funcionales", Sevilla, curso 2007/2008
- [36] Ignacio Eguía Salinas. "Apuntes de Gestión de Programas Aeronáuticos", Sevilla, curso 2007/2008
- [37] <<http://www.selection-vosges.com/sp/foret.htm>>
- [38] Adrián Martín Cañal. "Diseño aerodinámico de un UAV de baja velocidad", Sevilla, curso 2008/2009
- [39] Pedro López Teruel. "Análisis de Estabilidad y Control de un avión no tripulado: El proyecto Céfire", Sevilla, curso 2009/2010
- [40] Francisco Ventura Samblás Carrasco. "Análisis de actuaciones y planta propulsora de un avión no tripulado: El proyecto Céfire". Sevilla, curso 2008/2009
- [41] Daniel Pérez Alcaraz. "Diseño estructural y construcción de un avión no tripulado: El proyecto Céfire", Sevilla, curso 2008/2009
- [42] Sergio Esteban Roncero. "Request for proposal. Reconnaissance Unmanned Aerial Vehicle (RUAV)", Sevilla, curso 2007/2008
- [43] <<http://www.scribd.com/doc/6375263/Listado-de-Fresas-y-herramientas-para-mecanizado-CNC-con-fresadoras>>
- [44] <<http://www.futaba-rc.com/faq/faq-9c.html>> (Manual de la emisora Futaba T9CP Super PCM1024)

[45] <www.ripmax.com> (Thor 45 CDI Petrol Engine Operating Instructions)

[46] <http://www.vexacontrol.com/xciter_details_1.html> (Manual del excitador de servos)

14.2. Programas informáticos empleados

- Programa para generar trayectorias de corte: VCarve Pro. Versión: 4.602. Vectric Ltd.
- Programa para control de Máquina con motores paso a paso: WinPC-NC Professional
- Programa para tratamiento de datos: Microsoft Office Excel 2003
- Programa para gestión de proyecto: Microsoft Office Project 2003
- Programa para tratamiento de imágenes: Adobe Photoshop CS. Versión 8.0.1
- Programa de diseño asistido por ordenador: CATIA V5. Versión 14
- Programa para planificar rutas: Google Maps. Consultar la dirección web <<http://www.futabarc.com/faq/faq-9c.html>>